

**TEUK XX**

**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE  
UURIMINE JA KASUTAMINE**

KAHEKÜMNENDA KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF  
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

TWENTIETH CONFERENCE PROCEEDINGS

TARTU, ESTONIA, 2018

Toimetaja / Compiled by: Elis Vollmer  
Keeleline toimetus / Language editing: Margit Lehis

Toimetus on toetuse eest tänulik / Editorial staff is grateful for the support:



CENTRAL EASTERN EUROPEAN  
SUSTAINABLE ENERGY NETWORK

## Eesti Taastuvenergia Koda

Konverentsi korraldamist toetab Euroopa Liidu  
Regionaalarengu Fond projekti „Väärtusahelapõhine  
biomajandus“ (EMBio) raames.



Trükitud: Ecoprint AS  
Printed by: Ecoprint AS

Kirjastaja: Eesti Maaülikool  
Publisher: Estonian University of Life Sciences

© 2018

Eesti Maaülikool  
Estonian University of Life Sciences

ISBN: 978-9949-629-48-0 (trükis)  
978-9949-629-49-7 (pdf)

## Sisukord

### EESSÕNA

#### TAIELIK TAASTUVENERGIALE ÜLEMINEK ON MUUTUNUD MAJANDUSLIKULT JÄRJEST ATRAKTIIVSEMAKS

Alo Allik, Mihkel Annus, Neeme Kärbo, Aivo Loka, Elis Vollmer..... 6

#### ENERGEETIKAST ÜLDISELT JA ÜKSIKULT

Timo Tatar, Kristiina Tammeraid, Rein Vaks, Madis Laaniste..... 12

#### KOOSTÖÖ SÄÄSTVA ENERGEETIKA EDASIVIIMISEKS KESK- JA IDA- EUROOPAS

Elis Vollmer ..... 25

#### BIODIISLIKÜTUSE LISANDI MÕJU DIISELMOOTORI PÕLEMISPROTSESSILE

Risto Ilves, Arne Küt, Jüri Olt ..... 28

#### EUROOPA LIIDU ÕIGUSAKTIDE MÕJU VEDELADE BIOKÜTUSE KASUTAMISELE TRANSPORDISEKTORIS

Arne Küt, Risto Ilves, Keio Küt, Kaie Ritslaid, Jüri Olt ..... 41

## EESSÕNA

2018. tähistab 20. korda, mil toimub TEUK konverents. On väga tore näha, et TEUK on selle kahe kümnendi jooksul säilitanud kindlalt oma positsiooni Eesti taastuvenergia teemaliste foorumite hulgas. Eriti positiivne on asjaolu, et konverentsi kuulajate hulk on pigem kasvanud ning publiku hulgas on alati rohkelt noori. Lisaks on meil ka palju otseülekande jälgijaid üle terve Eesti, mis aitab infol laiema sihtrühmani jõuda. Kurvaks teeb vaid asjaolu, et konverentsi artiklite kogumiku publitseerimine on aasta aastalt raskemaks muutunud, kuna huvi eesti keeles teadusartiklite avaldamise vastu on endiselt tugevas languses. Teadlasi väärtustatakse endiselt vaid ingliskeelsete kõrgetasemeliste artiklite puhul, mis jätab pikalt tahaplaanile eesti keeles kirjutamise, teaduse populariseerimise kohalikul tasemel ning eestikeelse teaduskeele arengu. Selle mõju on juba tuntav igapäevases töös, kus paljudele ingliskeelsetele mõistetele ei ole pädevat eestikeelset vastet, mistõttu igaüks tõlgib neid nii nagu heaks arvab. Vähene huvi eestikeelse publitseerimise suhtes on näha ka TEUKi viimasel kolmel aastal. Kaks aastat ei olnud meil pea midagi avaldada ning sel aastal on kogumik vaid kolmandik kunagisest.

Käesoleva konverentsi fookuses on innovatsioon Eesti energiasektoris, lisaks pöörame pilgud teravamalt krüptorahanduse energiajäljele ning sellele kuidas parandada teadustulemuste jõudmist praktikasse. Krüptorahandus on jõuliselt kasvav kuid raskesti hoomatav sektor, millel on tegelikult oodatust suurem mõju energia tarbimisele. Arvestades, et Eesti on endiselt ligi 85% toodetavast energiast põlevkivist, on suureneva energiatarbega sektoril otsene mõju meie saasteainete emissioonidele ning sõltuvusele fossiilsetest kütustest. Paralleelselt on Eesti Taastuvenergia Koda uuendanud oma Taastuvenergia100 mudelit, mis näitab, et jõuliste arengute tõttu taastuvenergia tehnoloogiate (just meretuuleparkide ning päikesepaneelide) on vajalike investeeringute tasuvusaja vähenemine ületanud ka kõige optimistlikumad prognoosid. Kas ehk tuleks krüptorahanduse areng siduda tugevamalt just taastuvenergia kasutamisega?

Päeva lõpetusena toimub Eesti taastuvenergia sektori hetkeseisu ja teadusarenguid käsitlev paneeldiskussioon „Kuidas ettevõtete ja ülikoolide koostööst väljuda uute toodete ja teenustega?“, mis võtab kokku eelnevates ettekannetes käsitletud teemad ning üritab leida lahendusi, kuidas me saaksime oma teadulaste tulemusi paremini ja edukamalt kohalikus praktikas ära kasutada. Et need tulemused ei jääks ainult ülikoolide seinte vahele. Loodetavasti aitab see kaasa ka suuremale eestikeelsete teadusartiklite avaldamisele ning ülikoolide teadustöö nähtavamaks muutumisele just kohalikul tasemel.

Huvitavaid ettekandeid ja head lugemist!

Elis Vollmer

Eesti Maaülikooli taastuvenergia keskuse juhataja

## FOREWORD

2018 marks the twentieth time the TEUK conference takes place. It is delightful to see that TEUK has established itself firmly among the most popular renewable energy forums in Estonia. Especially positive is the fact that every year we have more and more young people in the audience. In addition, our live broadcasts help to deliver the message to a wider audience throughout whole Estonia. Only one sad aspect clouds the achievements. Publishing of scientific articles in Estonian has steadily declined over the years, which is why for two years we did not even manage to publish our proceedings and even this year it is only a third of its usual size. One reason for this is that our researchers are still evaluated only by the articles they publish in international journals, thus writing in Estonian, advocacy of our scientific results on local level and development of Estonian scientific language has dropped behind.

This year's conference will focus on recent innovative developments in our energy sector; special attention will be on cryptocurrency and improvement of technology transfer between our researchers and entrepreneurs. Cryptocurrency mining is rapidly developing yet unregulated sector that has serious impact on our energy consumption. Considering that Estonia still produces about 85% of our energy from oil-shale, the rapidly developing mining activity has direct effect on our pollution and emissions. In parallel the new calculations done by Estonian Renewable Energy Association show that the rapid development of renewable energy technologies (especially offshore wind and solar energy) has decreased the payback period of investments more than any of the previous prognoses predicted. Maybe we should connect the cryptocurrency mining and renewable energy production more directly?

Our day will be concluded with the panel discussion focusing on improving the technology transfer between our universities and entrepreneurs so that our economy would directly win from the research made by our scientists. I hope that this will lead us back to the increased number of scientific publications in Estonian as well, so that our research would be more visible in the local community.

Enjoy the articles and the conference presentations!

Elis Vollmer

Head of the Centre of Renewable Energy of Estonian University of Life Sciences

# TÄIELIK TAASTUVENERGIALE ÜLEMINEK ON MUUTUNUD MAJANDUSLIKULT JÄRJEST ATRAKTIIVSEMAKS

Alo Allik, Mihkel Annus, Neeme Kärbo, Aivo Loka, Elis Vollmer

Artikkel vaatlleb muudatusi Taastuvenergia 100 % (TE100) arengukava prognoosides. Aastatel 2016 kuni 2018 on toimunud oluline tehnoloogiahindade odavnemine ja süsihappegaasi heitmekvoodi kallinemine. Viimase kahe aasta prognooside põhjal on Eesti täielikule taastuvenergiaga varustatusele üleminek aastaks 2030 muutunud 424 miljoni euro võrra odavamaks. Ajaga on muutunud kindlamaks, et turuosalistele on tulevikus majanduslikult kõige ratsionaalsem valik taastuvenergia ja energiasäästlike lahenduste kasutamine.

**Märksõnad:** Taastuvenergeetika, süsihappegaasi emissioonid, majanduslik tasuvus, tehnoloogia hinnalangus.

## Sissejuhatus

Eesti on 2018. aastal veel põlevkivienergeetikast sõltuv ja ühtlasi ka Euroopa kõige saastavama elektritööstusega riik [1], kuid see olukord ei saa lõputult jätkuda. Kliimapoliitika põhialused aastani 2050 toetavad taastuvenergiale ülemineku otstarbekust [2]. Antud artikkel käsitleb peamiselt taastuvenergiale ülemineku majanduslikke aspekte, sest varajane taastuvenergiale üleminek võib anda riigile olulise konkurentsieelise. Artiklis vaadeldakse ja võrreldakse Eesti energeetikasektori võimalikke tulevikustsenaariumeid ning tutvustatakse Taastuvenergia 100% (TE100) arengukava 2018. aastal uuendatud versiooni. Uuendamise sisuks oli kahe viimase aasta jooksul kõige rohkem muutunud parameetrite, taastuvenergiatehnoloogiate ja süsihappegaasi saastekvoodi hinnad ning nendega seotud arvutuste kaasajastamine. Kuna nimetatud muutused mõjutavad eelkõige elektrisektorit, kajastuvad ka värskendatud kava muudatused selles valdkonnas, võrreldes soojus- ning transpordisektoriga. Selle energeetika mõistes lühikese perioodi jooksul ei ole ülejäänud parameetrid olulisel määral muutnud.

## Materjal ja meetodid

Artiklis võrreldakse kolme stsenaariumi:

- (ENMAK2030+) ilma sekkumiseta stsenaariumi (ingl k “*business as usual*”, BAU)
- Taastuvenergia 100% stsenaariumi 2016. aasta versioon (TE100)
- Taastuvenergia 100% stsenaariumi 2018. aasta versioon (TE100+)

TE100 ja TE100+ stsenaariumite puhul kaetakse aastal 2030 energiavajadus järgnevate taastuvenergia liikide abil (tabel 1).

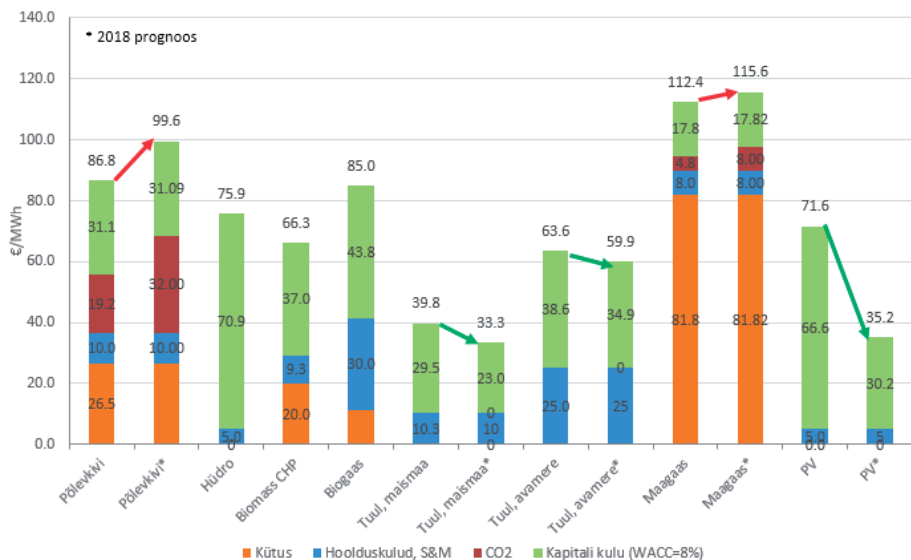
*Tabel 1. Täielikul taastuvenergiale üleminekul (TE100 ja TE100+ stsenaariumi korral) kasutatavad energiatehnoloogiad elektri tootmise osakaalude järgi aastal 2030*  
*Table 1. Percentages of energy production by technology in the scenarios of full conversion to renewables (TE100 and TE100+)*

<b>Tehnoloogia</b>	<b>Osakaal tootmismahust</b>
Põlevkivi-soojuselektrijaamad	0%
Hüdroenergia	0,40%
Biomassi koostootmisjaamad (KTJ)	22,20%
Biogaasil töötavad elektrijaamad	0,30%
Maismaatuulikud	12,40%
Väiketuulikud	0,30%
Avamere tuulepargid	49,80%
Päike	3,50%
Pump-hüdro akumulatsioonijaam (PHAJ)	11,10%
Toodang kokku	100%

Võimalike tulevikustsenaariumite võrdlemiseks valisime alusstsenaariumiks Eesti energiamajanduse arengukavast (ENMAK2030+) ilma sekkumiseta stsenaariumi ehk “business as usual” (BAU) [2]. **BAU stsenaariumi** järgi jätkub suures osas põlevkivist sõltuv elektritootmine (must stsenaarium) ja me kasutame olemasolevate soojuselektrijaamade ressursi ära. Sellega tagatakse esialgu küll energiasõltumatus, kuid taastuvenergiale üleminek ei ole fookuses [2]. Selle stsenaariumi põhiline majanduslik probleem on, et põlevkivist elektri tootmise kulud hakkavad 2020-ndail aastail ületama taastuvate allikatega toodetud elektri kulusid (joonis 1).

Peamine põhjus, miks põlevkivist toodetud elektri hind (joonis 1) tulevikus seni prognoositust kiiremini tõuseb, on süsihappegaasi kvoodi hind. Emiteeritava CO<sub>2</sub> kvoodi hinna prognoosid on tõusnud. 2016. aastal prognoositi 24 €/t CO<sub>2</sub> 2030. aastaks, kuid aastal 2018 on see tase juba peaaegu saavutatud (arvutustes kasutatud 21€/t) ja prognoositakse 40 €/t CO<sub>2</sub> aastaks 2030 [3].

**TE100(2016) stsenaariumi** põhjal on taastuvenergia 2030-ndaks aastaks majanduslikult odavam kui fossiilkütustel põhinev energeetika [4]. Selle tulemusel rajatakse Eestisse peamiselt avameretuuleparke ning nende tootmisvõimsust ja tarbimist balansseeriv pump-hüdroelektrijaam. Teine oluline tootmisvõimsuste lisandumise koht on biomassil töötavad koostootmisjaamad. Uute, taastuvatel allikatel põhinevate elektrijaamade ehitamisel



Joonis 1. Elektritootmisviiside prognoositavad kulud aastal 2030 [4]

Figure 1. Forecasted levelized costs for different energy generation methods in 2030 [4]

ning käitamisel tekivad uued kõrget kvalifikatsiooni nõudvad töökohad ja Eestis tekib taastuvenergia kompetentsikeskus, mis lisab majandusele väärtust ning kasvatab eksporti.

TE100 stsenaariumi 2018. aastal tehtud täiendused ehk **TE100+ stsenaarium kajastab kahte viimase kahe aasta jooksul enim muutunud komponenti** – taastuvenergiatehnoloogiate ja süsihappegaasi heitmekvootide hinnad. Investeeringusummade vähenemine on tulenenud tehnoloogiahindade alanemistest aastatel 2016 kuni 2018 (tabel 2).

Nende muutunud parameetrite põhjal on täielik taastuvenergiale ülemineku majanduslikult veel odavam kui 2016. aastal koostatud TE100 versiooni põhjal (joonis 2), mis muudab fossiilkütustel põhineva energeetikaga jätkamise majanduslikult veelgi küsitavamaks.

Riigi poolt vajalikud toetused on kaetud lisanduvate maksulaekumistega taastuvenergeetika arendamisest (lisanduvalt laekuv käibemaks ja tööjõumaksud taastuvenergiasektori uutest töökohtadest). Taastuvenergiasektori arendamine loob TE100 kava kohaselt prognoositavalt 14 000 uut töökohta. 100%-lisele taastuvenergiale üleminekul suurenevad valitsussektori netotulud, eelkõige tööjõumaksud, 139 miljoni euro võrra aastas. Majanduslanguse korral on töökohtade loomine ka sotsiaalsest aspektist väga kasulik, et pehmemendada inimeste sissetulekute vähenemist. 2018. aastaks on maailma-



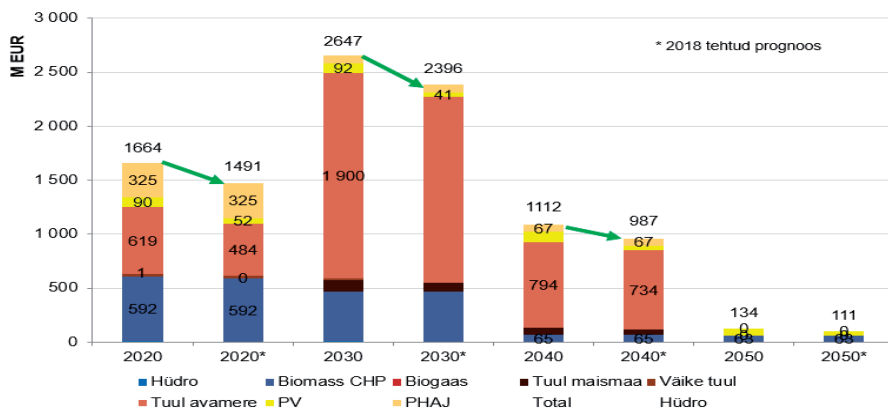
majandus olnud juba kümme aastat tõusvas trendis ja 2020-ndate aastate jooksul esineva majanduslanguse tõenäosus üha kasvab. 2020-ndatel aastatel väheneb ka Euroopa Liidu toetuste hulk Eestile, sest sisemajanduse kogutoodang saavutab Euroopa Liidu keskmisega sarnasema taseme.

Tabel 2. Tehnoloogiate hinnad, €/W

Table 2. Technology prices, €/W

	2017	2020	2030	2040	2050
Tuul, maismaa (TE100 2016), €/W	1,33	1,19	1,05	1,03	1
Tuul, maismaa (TE100 2018), €/W	0,9	0,87	0,82	0,77	0,72
Maismaatuulikute hinnaproгноosi muutus, %	-32%	-27%	-22%	-25%	-28%
Tuul, avamere (TE100 2016), €/W	2,95	2,48	2	1,85	1,7
Tuul, avamere (TE100 2018), €/W	2	1,93	1,81	1,71	1,59
Avameretuulikute hinnaproгноosi muutus, %	-32%	-22%	-10%	-8%	-6%
PV (TE100 2016), €/W	1,5	0,9	0,75	0,6	0,4
PV (TE100 2018), €/W	0,7	0,53	0,34	0,29	0,26
PV hinnaproгноosi muutus, %	-53%	-41%	-55%	-52%	-35%

## TE100 jaoks vajalike investeeringusummade vähenemine



Vajalike investeeringute maksumus aastaks 2030 on langenud siiani proгноositud **4311** miljoni € pealt **3887** miljoni € peale.

Joonis 2. TE100 elluviimiseks vajalikud investeeringusummad aastate lõikes [4]

Figure 2. Needed investments for the full conversion to renewables by year [4]

## **Tulemused ja arutelu (stsenaariumite võrdlus)**

Võrreldes TE100 ja TE100+ ehk 2016. ja 2018. aasta andmetel baseeruvaid maksumusi, siis täielikuks taastuvenergiale üleminekuks elektri- ja soojussektoris vajalike investeeringute maksumus kuni 2030. aastani on langenud siiani prognoositud 4,3 miljardilt eurolt 3,9 miljardi eurole. Võrreldes esimese TE100 versiooniga aastast 2012, kui kogumaksumus oli 5,9 miljardit, on maksumus vähenenud 2018. aastaks kahe miljardi võrra ehk kokku 34% [4]. Põhiliselt on see tingitud tuuletehnoloogia odavnemisest, eriti maismaatuulikute puhul, sest suurima osakaalu TE100 elektri tootmisportfellis ja taastuvenergia potentsiaali Eestis moodustab tuul. Kõige enam mõju on avamere tuulikute tehnoloogia odavnemisel. Kuigi päikeseenergia tehnoloogiad on TE100 ja TE100+ prognoosides kiiremini odavnenud kui tuuleenergia omad, siis päikesepaneelide abil ei oleks ka tulevikus otstarbekas nii määravat osa Eesti energiatarbest katta kui elektrituu-likutega.

Vaadeldes BAU stsenaariumi kirjeldust [9]: „Liberaalne stsenaarium on baasstsenaariumiks. Elektri ja soojuse nõudlus täidetakse turuolukorras majanduslikult kõige otstarbekamal viisil.”, siis aastal 2018 tehtud prognoosi põhjal saab tulevikus kõige otstarbekamaks viisiks taastuvenergia stsenaarium.

Tulevikuprognooside põhjal võib öelda, et Taastuvenergia 100% saab lähiajal *business-as-usual* stsenaariumiks, sest taastuvenergia tehnoloogiad saavutavad turutingimustel konkurentsieelise. Sellise kava varasemal teostumisel ületaks Eesti Euroopa Liidu kü-  
tuste ja energia kokkuhoidu käsitlevate direktiivide eesmärgid ja oleks eeskujuks, mida saab rahvusvaheliselt esile tõsta.

## **Kokkuvõte**

Kahe eelneva aastaga (2016 kuni 2018) on täielikuks taastuvenergiale üleminekuks vajalike investeeringute maksumus märgatavalt langenud. Kuni 2030 aastani vajaminevate investeeringute kogusumma on vähenenud 2016. aastal prognoositud 4,3 miljardilt eurolt 3,9 miljardi eurole. Samal perioodil on süsihappegaasi kvoodi hind märgatavalt tõusnud, 2018 aastaks on jõutud tasemeni, mida prognoositi aastaks 2030 ja mis põhjustab tulevikus fossiilsetest energiaallikatest toodetava elektri hinna märgatava tõusu. Seega on turuosalistele majanduslikult kõige ratsionaalsem valik taastuvenergia ja energiasäästlike lahenduste kasutamine.

## Viited

1. Moro, A., Lonza, L. 2018. Electricity carbon intensity in the European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles, kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916307933> (11.10.2018).
2. Kliimapoliitika põhialused aastani 2050 [https://www.envir.ee/sites/default/files/kpp\\_2050.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/kpp_2050.pdf) (lk 5-6).
3. M. Laaniste ettekanne ENMAK stsenaariumite kohta – [https://issuu.com/energiay-histud/docs/laaniste\\_m-\\_majandus-\\_ja\\_kommunikatsioonimini](https://issuu.com/energiay-histud/docs/laaniste_m-_majandus-_ja_kommunikatsioonimini)
4. CO<sub>2</sub> price forecast <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/082118-eu-co2-prices-to-average-eur35-40mt-to-2023-carbon-tracker>
5. Taastuvenergia 100% kättesaadav: <http://www.taastuvenergeetika.ee/taastuvenergia-100/>
6. ENMAK2030+
7. CO<sub>2</sub> hinna graafik <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>
8. Greenpeace, Energy [r]evolution report [https://www.researchgate.net/publication/310018861\\_Energy\\_Revolution\\_-\\_A\\_sustainable\\_world\\_energy\\_outlook\\_2015](https://www.researchgate.net/publication/310018861_Energy_Revolution_-_A_sustainable_world_energy_outlook_2015)
9. energiatalgud.ee, Business as usual stsenaariumi kirjeldus: [https://energiatalgud.ee/index.php/ENMAK\\_2030.\\_Elektritootmise\\_stsenaariumid?menu-183](https://energiatalgud.ee/index.php/ENMAK_2030._Elektritootmise_stsenaariumid?menu-183)

## THE COMPETE TRANSFER TO RENEWABLE ENERGY HAS BECOME EVEN MORE ECONOMICALLY PROFITABLE

Alo Allik, Mihkel Annus, Neeme Kärbo, Aivo Lökk, Elis Vollmer

The current article explores the recent developments of the Estonian Renewable Energy 100 % action plan. The years 2016 to 2018 have seen a significant price decline of renewable energy technologies and a rise in carbon dioxide emission quota prices. These developments have given reason to adjust the forecasts for the conversion to a totally renewables based energy supply, which has gotten 424 million Euros cheaper in the last two years. The evidence has grown that in the future it is economically most reasonable to produce energy from renewables.

# ENERGEETIKAST ÜLDISELT JA ÜRSIKULT

Timo Tatar, Kristiina Tammeraid, Rein Vaks, Madis Laaniste

Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium

Timo.Tatar@mkm.ee, kristiina.tammeraid@mkm.ee, rein.vaks@mkm.ee, madis.laaniste@mkm.ee

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi energeetikaosakonna töötajate ühistööna valminud artikkel avab Eesti energiapoliitika väljakutseid ja plaane laiemas, globaalses prisma. Tehakse ka tagasivaade taastatud Eesti Vabariigi esimestele energeetika arengut käsitlevatele arengudokumentidele, pakkudes lugejale võimalust võrrelda toonaseid ning tänaseid käsitusi taastuenergia arengutest. Selgitatakse, kuidas on kujunenud Euroopa Liidu ühtne energia- ja kliimapoliitika. Millised on viimased arengud Puhta Energia Paketiga. Kas otsustamine koondub ka edaspidi järjest enam Brüsselisse või detsentraliseerub siiski tagasi pealinnadesse?

Mõõdetakse Eesti ökoloogilist jalajälge ning avatakse, kuidas ning millistes valdkondades on selle vähendamise võimalused perspektiivikamad. Mida teha sektoritega, kus muutused on vajalikud, kuid ühiskonna laiemale enamusele veel vastuvõetamatud? Arutletakse riigi ja kodanike rolli üle, muutustele ellukutsumisel jõutakse järeldusele, et kodanike teadlikkus, aktiivsus ning initsiatiiv peab tulevikus üle kaaluma regulatiivse sunni.

## Märksõnad:

1. Sissejuhatus (nafta tarbimine, energiasääst, taastuenergia, põlevkivi, Pariisi kliimakokkulepe, IPCC, ENMAK 2030).
2. Euroopa Liidu roll riiklike energiapoliitikate kujundamisel (Lissaboni leping, Kyoto, Gazprom, 3. energiapakett, emissioonikaubanduse süsteem, puhta energia pakett, 2030. aasta eesmärgid).
3. Taastuenergeetika arendamine taasiseseisvumise esimestel aastatel (hüdroenergia, biomass, energiasääst, masuut).
4. Detailsemad plaanid taastuenergia kasutuselevõtuks (taastuenergia edendamise meetmed).
5. Lahendused, mis viivad edasi (transport, soojamajandus, taastuvelekter, 2030).

## Sissejuhatus

Äsja avaldasid valitsustevahelisse kliimamuutuste nõukokku koondunud teadlased uue raporti. Raporti põhisõnum oli murettekitav. Hoolimata 2015. aastal Pariisis saavutatud globaalsest kokkuleppes, oleme jätkuvalt kliimakatastroofi kursil. Kokkuleppes osalevate riikide väljanäidatud otsustavus ei ole tegelike tegudeni veel jõudnud. Paar aastat paigal püsinud kasvuhoonegaaside globaalne emissioon pöördus möödunud aastal taas tõusule. Vajalike muutuste elluviimiseks vajalik aeg hakkab lõppema. Vajalike muudatuste sekkumisulatus aga järjest kasvab.

Sellised alarmeerivad sõnumid sunnivad endalt küsima, kas Eestis tehtavad pingutused katastroofiliste kliimamuutuste ennetamiseks on piisavad või saaksime ja peaksime tegema tunduvalt enam. Teine, võib-olla isegi laiem küsimus on, et kuidas selliseid muutusi üldse ellu viia – puudutavad need ju kogu meie elukorraldust. Alates sellest, mida me sööme, kuidas liigume, kuidas majanduse toimimiseks vajaliku energia saame, ning lõpetades sellega, kuidas suhtume inimestesse, kes kliimamuutuste tõttu elamiskõlbmatuks muutunud aladelt turvalisema keskkonna poole liiguvad.

Arvestades väljakutse suurust, on päris selge, et selliseid muudatusi ei ole võimalik ellu viia riigi tahet kodanikele peale surudes, vaid vajalik on saavutada laiem ühiskondlik kokkulepe, mis ulatub kaugemale valimistsüklistest ning parteipoliitilistest heitlustest – need muudatused peavad algama igaühest enesest, meie tänastest valikutest.

Eesti CO<sub>2</sub> emissioon oli möödunud aastal 18,9 miljonit tonni. Kui võrrelda heitkogust globaalse CO<sub>2</sub> emissiooniga, milleks on hinnanguliselt 36 miljardit tonni, siis moodustame globaalses masinavärgis vaid 0,05%. Selleks, et aru saada, kas seda on palju või vähe, tuleks asetada meie 45 000-ruutkilomeetrine 1,3 miljoni elanikuga maatükk globaalsele kaardile.

Need võrdlused maalivad kõneka pildi. Eesti CO<sub>2</sub> emissioon ühe elaniku kohta on 2,8 korda kõrgem keskmise maailmakodaniku emissioonist. Teisiti öeldes – Eestis peaks elama 3,65 miljonit elanikku, et meie CO<sub>2</sub> emissioonid oleks maailma keskmisel tasemel. Kui aga eeldame, et meie rahvaarv lähiajal niivõrd kiiresti ei paisu, peaksime CO<sub>2</sub> emissioone 2,8 korda vähendama. Ehk 18,9 miljonist tonnist peame jõudma seitsmeni. Eesti kliimapoliitika põhialuste kohaselt peaksime sellele tasemele jõudma 2050. aastaks.

Eesti kasvuhoonegaaside koguemissioonist eraldub 78% energiatootmises – sellest põhiosa põlevkivisektoris, 11% transpordis ning teist samapalju põllumajanduses. Need on ka kolm sektorit, kus muutused peavad olema kõige mõjukamad ja kiiremad. Energeetikasektoris on plaan olemas. 2013. aastal algatatud ning 2017. aastal vastu võetud Energiamaajanduse arengukava kuni aastani 2030 paneb paika plaani ning poliitikavali-  
kud, mida järgides langevad Eesti energiasektori kasvuhoonegaaside emissioonid aastaks 2030 70% (võrreldes 1990. aasta tasemega) ja 2050. aastaks enam kui 80%.

See on plaan, mis arvestab tänaseid tehnoloogiaid ning lahendusi. Vaadates energiatehnoloogiate kiiret arengut ning taastuvenergialahenduste konkurentsivõime kasvu viimasel kümnel aastal, julgen olla mõõdukalt optimistlik, et täna ambitsioonikas plaan

ning 2030. aasta sihttasemed on võimalik tulevikus üle vaadata ning ambitsiooni isegi suurendada.

Energiasektori muutused puudutavad vast kõige enam põlevkivisektorit. Kui täna kasutatakse umbkaudu 70% põlevkivist elektri tootmiseks ning 30% õli tootmiseks, siis järgmise kümnendi lõpuks võiks need osakaalud olla vastupidised.

Elektritootmisel võtavad põlevkivilt kandva rolli üle taastuvad energiaallikad, Eesti puhul ilmselt peamiselt tuul ja biomass, aga ka madalama CO<sub>2</sub> emissiooniga fossiilsed kütused nagu maagaas. Ka põlevkivist elektri tootmine uuemates ning efektiivsemates jaamades jätkub, kuid senisest väiksema mahu ja ökoloogilise jalajäljega. Põlevkivi, puidujäätmeid ja õlitootmisest tekkivat generaatorgaasi segades ei erine Auvere elektrijaamade CO<sub>2</sub> eriemissioon kuigivõrd modernsete gaasielektrejaamade omast, mis on tavapäraselt umbkaudu 350 kg iga toodetud MWh elektri kohta<sup>1</sup>. Nupust käivituvate juhitavate elektritootmisvõimsuste järele on järjest kasvav vajadus, et balansseerida tuulest ja päikesest toodetud elektri heitlikkust.

Põlevkiviõli tootmise tehnoloogiad võimaldavad kätte saada enam kui 80% põlevkivist peituvast energiast. Võrreldes elektri tootmisega on seda kaks korda rohkem. See tähendab ühtlasi ka väiksemaid CO<sub>2</sub> emissioone, suuremat toodetud lisandväärtust põlevkivisektoris hõivatu ning kaevandatud põlevkivi tonni kohta. Kui kauaks jätkub põlevkivist toodetud vedelkütustel maailmas turgu, peab näitama aeg.

Hiljuti ületas maailma päevane naftatarbimine esmakordselt 100 miljoni barreli piiri. Et seda kogust kuidagi piltlikustada, võiks ette kujutada tsisternvagunite rivi, mis ulatub Tallinnast Pariisi. Ja nii iga päev. Veel kolmkümmend aastat tagasi oleks see rong olnud poole lühem, kuid see rong aina pikeneb. Kasvu veab üha enam keemiatööstuses erinevate toodete (plastid, tekstiilid, väetised jms) valmistamiseks kasutatav toornafta<sup>2</sup>. Vaesuse vähenemine ja maailma elatustaseme tõus suurendab järjest nõudlust ka naftatoodete järele. Rahvusvaheline konsultatsiooniettevõtte Wood Mackenzie prognoosis hiljuti<sup>3</sup>, et nafta tarbimise tipp saabub 2036. aastal. Hiljuti Statoilist Equinoriks ümbersündinud Norra riiklik naftaettevõtte prognoosib<sup>4</sup> samuti tarbimise tippu 2030ndatesse.

<sup>1</sup>[https://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field\\_file/FactsFigures\\_8.pdf](https://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field_file/FactsFigures_8.pdf)

<sup>2</sup><https://www.dw.com/en/petrochemicals-for-plastics-to-drive-global-oil-demand-ia-says/a-45779634>

<sup>3</sup> <https://oilprice.com/Energy/Crude-Oil/Wood-Mackenzie-Global-Peak-Oil-Demand-Expected-In-2036.html>

<sup>4</sup> <https://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/Equinor-Sees-Peak-Oil-Demand-Around-2030.html>

Kui me sooviks selle koguse asendada päevapealt vedelate biokütustega (nt etanool), oleks iga päev vaja maisi eri andmetel 56 territooriumilt, mis ulatub 50 000 kuni 85 000 ruutkilomeetrini. On päris selge, et globaalse CO<sub>2</sub> bilansi tasakaaluni viimine aastaks 2050, nagu Pariisi kliimakokkulepe ette näeb, on Heraklese masti vägitegu, midagi Lerna Hüdraga võitlemisega samaväärset. Nagu teadlased äsja raporteerisid, oleme hetkel võitluses alla jäämas – alates Pariisi kokkuleppest on hüdrle mõned pead suisa juurde tekkinud.

Kuigi väljavaated ei ole roosilised, ei maksa usku kaotada. Kas mäletate veel happevihmasid ning osooniauke? Need globaalset ühispingutust nõudnud teemad on tänaseks lahenemas. Ka Eesti energeetikasektor on andnud happevihmade probleemi lahendamiseks oma panuse – suured elektrijaamad on varustatud happevihmasid põhjustavate väävli- ja lämmastikuühendeid vähendavate seadmetega.

Osooniaugud on pärast 1987. aastal sõlmitud Montreali protokoll, millega kõik maailma riigid võtsid kohustuse lõpetada osoonikihti kahjustavate või vähendavate ainete kasutamine, järjepanu vähenenud. Teadlaste hinnangul normaliseerub osoonikiht lõplikult käesoleva sajandi keskpaigaks.<sup>7,8</sup>

Sama suur roll kui muutustel energia tootmises, on ka muutustel selle tarbimises. Tarbimise puhul on töötavad lahendused juba täna olemas. Euroopa Liidus kasutavad hooned ligikaudu 40% kogu tarbitud energiast ning on seeläbi vastutavad ca 35% CO<sub>2</sub> emissioonide eest. Vaadates eelpool kirjeldatud globaalset väljakutset, on hoonete energiatõhususse investeerimine üks kõige madalamal rippuvaid vilju. Hästi projekteeritud, ehitatud ning targalt kasutatud hooned hakkavad tarbijatele raha ning ühiskonnale kütust säästma esimesest kasutuspäevast alates, vajades talvel vähem kütet ning suvel vähem jahutust. Seejuures on sisekliima tihtilugu parem kui vanemates majades.

Transpordi energiakasutus moodustab Euroopa Liidus 33% kogu energiatarbimisest. Ehkki mitte nii palju nagu hoonete energiatarbimises, on ka selles sektoris täna lahendusi, kuidas suhteliselt väikese pingutusega energiat ning emissioone oluliselt kokku hoida. Hoolimata pidevast nurinast kalli kütuse hinna suunas, ei huvita meid tegelikult kuigivõrd auto soetamise puhul selle kütusekulu või sellest sõltuvad CO<sub>2</sub> emissioonid. Seda kinnitab statistika, mille kohaselt on Eesti autopark Euroopa Liidu üks saastava-

---

5 <http://news.cornell.edu/stories/2001/08/ethanol-corn-faulted-energy-waster-scientist-says>

6 <https://www.businessinsider.com/1-million-barrels-of-oil-2010-6>

7 <https://newatlas.com/ozone-hole-recovery-direct-evidence/52855/>

8 <https://www.keskkonnatehnika.ee/montreali-protokoll-keskkonnakokkulepe/>

maid. Kusjuures säästlikumate sõidukite soetusmaksumus, rääkimata ülalpidamiskuludest, on enamasti madalam. Muijal Euroopas levinud CO<sub>2</sub> emissioonist sõltuvad autode registreerimistasud või automaks, mis suunaks tarbijaid keskkonnasäästlikemate sõidukite poole, on Eesti poliitilises diskussioonis jätkuvalt tabuteema.

Siinkohal ongi ehk õige tõstatada küsimus riigi rollist muutustest ellukutsumisel. Eestlased on kodanikuvabadusi kõrgelt hindavad inimesed. Meile ei meeldi lapsehoidjariik, kes tuleb õpetama, missuguses majas elada ning millise autoga sõita. Samas on üldjuhul nii, et suurema vabadusega peab kaasnema ka suurem vastutus – antud juhul vastutus keskkonna eest. Paradoksaalsel kombel on keskkonna seisukohalt vastutustundlike valikute tegemine inimesele ka kokkuvõttes odavam.

Energiasektori tulevikutrende kirjeldatakse tihti 3D-ga – de-karboniseerumine, detsentraliseerumine ning digitaliseerumine. Sellega seoses muutub ka riigi roll energiapoliitika kujundamisel. Riigi roll energiasektoris on järjest enam olla tururegulaator, et kindlustada võrdne konkurents erinevate uute tehnoloogiate vahel. Samuti tuleb riigil hoolt kanda, et aina väiksematest tükkidest koosneval suurel pildil oleks jätkuvalt tagatud energia varustuskindluse ning energiajulgeoleku mõõtmised. Energia tootmisega saavad tarbijad, ühised ja ettevõtted aina enam ise hakkama. Üldjuhul on selline tootmine täiesti CO<sub>2</sub> emissioonivaba.

Üldise detsentraliseerumise trendiga on esmapilgul vastuolus Euroopa Liidu energia- ja kliimapoliitika. Nii nagu on aasta-aastalt paranenud energiaühendused Euroopa Liidu sees, on suurenenud ka Euroopa Liidu koordineeriv ja suunav roll Liidu energia- ja kliimapoliitika kujundamisel. Samas on suurema Euroopa Liidu energia- ja kliimapoliitika koordineerimisega kaasnenud ka märkimisväärne ELi rahastus. Käimasolevas ELi finantsperioodis suunatakse ca 206 mld € energia- ja kliimapoliitika eesmärkide saavutamisele kaasaaitamisele. Alanud on järgmise finantsperspektiivi, mis vältab 2021–2027, läbirääkimised. Euroopa Liidu majanduse dekarboniseerimisele kaasaaitamine saab uuel perioodil olema veelgi suurema kaaluga eesmärk – 25% kogu ELi eelarvest peaks suunatama kliimaeesmärkide saavutamisse, st ca 320 mld €.

### **Euroopa Liidu roll riiklike energiapoliitikate kujundamisel**

Selleks, et aru saada, miks Euroopa Liit on võtnud niivõrd aktiivse hoiaku energia-, sealhulgas taastuvenergiapoliitika kujundamisel, tuleks ajas umbes 20 aastat tagasi minna. Siis oli taastuvenergia jõulisem arendamine pigem väheste edumeelsete riikide huvi, kes kasutasid selleks erinevaid vahendeid alates teadus- ja arendustegevuste ja



pilootprojektide arendamisest kuni tehnoloogiate turuleaitamise toetamiseni. Kasutusel oli rida erinevaid toetussüsteeme: soodustariifid, rohelised sertifikaadid, pakkumissüsteemid ja maksusoodustused, mis muutsid Euroopa taastuvenergia arendamise pildi kirjuks ja ebaühtlaseks ning ei arvestanud energia siseturu lõimimise eesmärgiga.

Üldiselt pidasid ELi liikmesriigid igasugust sekkumist oma energiaallikate kasutamise-õigusesse ebavajalikuks ja isegi ohtlikuks. Üleüldine arusaam (mis aegajalt ka tänapäeval kostub) oli, et elektrienergiaga varustatuse kindlustamine on iga riigi enda ülesanne ning loomulikult teab iga riik ise kõige paremini, kuidas ja milliste allikatega seda teha.

Üha kuumemaks teemaks nii rahvusvaheliselt (ÜRO) kui Euroopa Liidus hakkas 1990. aastatel kujunema kliimamuutuste küsimus. Märgiline sündmus oli Kyoto protokolliga vastuvõtmine 1997. aastal, millega kohustusid liitunud riigid vähendama oma kasvuhoonegaaside heitkoguseid võrreldes 1990. aastaga. Euroopa Liidus nähti, et globaalsesse kliimamuutuste vastasesse võitlusesse saab panustada vaid ühiselt ning algatati diskussioon erinevate tegevuste üle, mida riigid saaksid kasvuhoonegaaside vähendamiseks ära teha. 2000. a asutatud Euroopa kliimamuutuste programmi töögruppide tulemusel jõuti nii ELi heitkogustega kauplemise süsteemi loomiseni kui ka mõtteni, et fossiilkütustest pärinevaid heitmeid saaks vähendada, võttes kasutusele rohkem süsinikuvabasid energiaallikaid, st taastuvat energiat.

Lisaks kliimamuutuste vastu võitlemise argumendile toetasid taastuvate allikate arendamist ka tõusvad nafta- ja gaasihinnad ning ELi üha suurenev sõltuvus fossiilkütuste impordist. Kuid EL energiaturgudel valitsesid endiselt suured energiakontsernid, mis olid üles ehitatud peaaesjalikult fossiilkütuste tootmisele ja müümisele ning mis väga ei tahtnud mõelda oma tootmisportfelli uuendamise peale. Seetõttu leiti Brüsselis, et ainuvõimalik tee elektrisektoris muutusi esile kutsuda on läbi seadusandluse. Euroopa Komisjoni masinavärk hakkas tööle ning juba 2001. a avaldati kaks direktiivi, millest ühe eesmärgiks oli edendada taastuvelektrit ning teise eesmärgiks biokütuseid. Direktiivide läbirääkimised näitasid, et vaatamata teadlikkuse tõusule kliimamuutuste ohtudest, ei olnud riigid valdavalt valmis võtma kohustusi taastuvenergia arendamiseks ning oma taastuvenergia toetussüsteeme harmoneerima. Direktiividega seatud eesmärgid jäid vaid soovituslikeks ning lisaks tekkisid erimeelsused biokütuste rolli osas, et kas nende eelisarendamine, mis oli meeltnööda tugeva põllumajandussektoriga riikidele, on ikkagi kooskõlas muude säästva arengu eesmärkidega, eeskätt näljahäda leevendamine maailmas.

Elu energiasektoris jätkus suures osas vanaviisi. Direktiividega seatud mittekohustuslikud eesmärgid ei motiveerinud riike pingutama ega suuri ümberkorraldusi tegema. Euroopa Komisjoni katsetused luua suurem avatus konkurentstile, piiriülesele koostööle ja monopolide vähendamisele nii esimese (1997 (elekter), 1998 (gaas)) kui teise energia siseturupaketiga (2003) jäid samuti suhteliselt hambutuks ning tootsid vaid väga ebaühtlase avatustasemega riiklikke energiaturge.

Meелеmuutuse jaoks oli vaja Euroopat puudutavat šokki ja kogu Euroopa Liitu hõlmava konsensuse tekkimist. 2006. a 1. jaanuaril, peale kuid kestnud vaidlusi Venemaa ja Ukraina vahel, lõpetas Gazprom gaasitarned Ukrainasse, mis omakorda mõjutas rohkem kui kümnet Kesk- ja Ida-Euroopa riiki, kes sõltusid suuremal või vähemal määral Venemaalt imporditavast gaasist. Kuigi gaasitarned taastati mõne päeva jooksul, oli see valusaks õppetunniks Euroopale ning laiemalt leidis arusaamist arvamusi, et importkütustele ning ELi killustunud energiaturul välistarnelepingutele lootmine ei taga pikaajalist varustuskindlust. Lisaks kliimamuutuste vastaste võitlejate tegevusele lõi see sobiva fooni Euroopa Liidus taastuvenergia ja energiaturgude arenguks vajalikuks läbimurdeks. 2007. a märtsi ülemkogul leppisid ELi liidrid kokku 20-20-20 eesmärkides aastaks 2020, sealhulgas siduvas eesmärgis suurendada taastuvenergia tarbimist 20% võrra. Selle kõrgetasemelise kokkuleppe tuules sündisid nii ELi energia- ja kliimapakett (2009) kui ka kolmas energia siseturupakett (2009), mis oma kohustuslike eesmärkide ja meetmetega suutsid järk-järgult EL-i energiaturul vajalikud muudatused läbi viia. Lisaks allkirjastati 2007. a detsembris Lissaboni leping, millega pandi alus ELi ühisele energiapoliitikale ning mille energeetikapeatüki peamine eesmärk oli suurendada liikmesriikide solidaarsust energia siseturu väljaarendamisel, energiavõrkude ühendamisel ja varustuskindluse tagamisel ning panustada enam taastuvenergiaallikate edendamisele ja energiakasutuse tõhustamisele.

Seega võib ajaloole tagasi vaadates väita, et ilma ELi poolse regulatiivse sekkumiseta oleks taastuvenergia arenemine praegusele tasemele võtnud Euroopas kindlasti rohkem aega. Samas ei oleks ELi tasemel läbimurret sündinud ilma riikide tugeva toetuseta, milleks andsid tõuke kriitilised sündmused, mis suutsid haarata ELi valitsusjuhtide tähelepanu. Olukorras, kus riiklikke poliitikaid tehakse tihti ühest valimistsüklist teiseni, on tsentraliseeritud, kogu liitu hõlmavatel strateegilistel pikaajalistel eesmärkidel ja ühtseid ideid elluviivatel kohustustel oma koht. Kindlasti on ELi poliitika ja sellest lähtuvalt riigipoliitikad, sh nii seadusandlikud kui toetustele suunatud tegevused, väga palju kaasa aidanud puhta energia tehnoloogiate arengule ja hindade alanemisele.

Eesti on taastuenergia edendamisel olnud Euroopa Liidus esirinnas – täitsime oma 2020 eesmärgi juba 2011. aastal. Kuigi see on meile toonud palju kiitust rahvusvaheliselt ja ka põhjust uhkust tunda, peab nentima, et Eesti tarbijale läks see areng päris palju maksma. Seetõttu oli 2014. aastal EL 2030 energia- ja kliimaraamistikku kokku leppides nii Eestil kui ka paljudel teistel riikidel soov lõdvendada uuel perioodil vähemalt taastuenergia arendamise puhul ELi tsentraalset juhtimist. Poliitikameetmed olid saavutanud oma eesmärgi – taastuenergiale olid loodud võimalused ELi energiaturul võrdsetel alustel konkureerida, toetusstruktuuride turupõhisust ja ühtlustust jälgis Euroopa Komisjoni konkurentsiosakond, sektori arengule oli antud hoog ja pöördumatu suund. 2014. a ülemkogul nii ka otsustati – 2030. aastaks seatakse küll ELi tasemel siduv (27%) taastuenergia eesmärk, kuid liikmesriikidele jäetakse vabadus ise otsustada, kuidas ning millise tempoga eesmärki panustatakse. Isegi eesmärgi ambitsioonikus lähtus põhimõttest, et taastuenergia rolliks peab jääma EL kasvuhoonegaaside heitmete vähendamisele kaasaaitamine, mitte olema eesmärk iseeneses.

Miks siis ikkagi Puhta energia paketi läbirääkimiste tulemusel on meil aastaks 2030 märksa kõrgem ELi taastuenergiaeesmärk (32%) ja transpordisektori kohustuslik taastuenergiaeesmärk (14%) ning väga ettekirjutav viis määrata kindlaks liikmesriigi panus ELi üldisse eesmärki ja selle lubaduse elluviimiseks? Kuhu kadus liikmesriikide soov haarata ohjad oma vähese süsinikusisaldusega majandusele ülemineku poliitika kujundamisel?

Peale kokkulepete sõlmimist 2018. a juunis (taastuenergia ja energiatõhususe direktiivide ja energialiidu juhtimisraamistiku määruse) põhjendas Euroopa Komisjon kõrgemate taastuenergia ja energiatõhususe eesmärkide vajadust sellega, et see loob võimaluse üle vaadata Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside vähendamise eesmärgi, 40% võrreldes 1990. a, mis oli 2014. a ülemkogu kokkuleppe osa ning mis võib praeguseks olla juba ajale jalgu jäänud. Euroopa keskkonnaministrid otsustasid siiski oma oktoobrikuise istungil, et Euroopa Liidu kliimaambitsiooni tõstmist detsembris toimival järjekorras 24. ÜRO kliimakõneluste istungjärgul, kus on teemaks Pariisi kliimakokkuleppe täitmise lahendused, veel ei arutata.

Riiklike strateegiliste energiakavade pakendamisega ühtsesse euroopalikku vormi (riiklikud energia- ja kliimakavad) koos Euroopa Komisjonile tugeva järelevalverolli andmisega on astunud pikk samm riiklike energiapoliitikate Euroopa Liidu ülese tsentraliseerituse suunas. See on samuti nõue, mis tuleneb Puhta energia paketist ning millele riigid algselt suhteliselt tugevalt vastu seisid. Mis moel hakkab see tulevikus haakuma

liikmesriikide õigusega oma energiaallikaid valida ja varustuskindluse eest hoolt kanda, näitab aeg. Samas annab kliimamuutuste vastaste tegevuste hõlmamine riiklikesse tegevuskavadesse tunnistust sellest, et edaspidi peaks Euroopa Liidu ja riiklik kasvuhooonegaaside vähendamise poliitika olema tugevalt koordineeritud ning kooskõlas energeetikavaldkonnas tehtavate sammudega ja vastupidi. Tuleviku mõttekoht võiks olla, kas sellistesse strateegilistesse kavadesse tuleks kaasata ka transpordi, tööstuse ning põllumajanduse valdkonna arendamise, et kindlustada eesmärgipärane liikumine tõeliselt süsinikuvähese majanduse suunas koos vajalike lahendustega majanduse konkurentsivõime suurendamiseks.

Nagu eelnevast nähtub, on globaalse süsinikubilansi tasakaaluni, mis on Pariisi kliimakokkuleppe eesmärk, meil veel pikk tee minna. Teisalt, kui heita pilk seljataha, on samavõrra põhjust rahuloluks.

### **Taastuvenergeetika arendamine taasiseseisvumise esimestel aastatel**

Eesti Vabariigi taasiseseisvumise aasta 21. jaanuaril vabariigi valitsuses arutatud „Eesti Vabariigi energeetika arengukava (aastani 1995)“ märkis ära, et taastuvate energiaallikate kasutuselevõtt aitab vähendada sõltuvust imporditavast kütusest ja pidas vajalikuks taastuvenergeetika arendamisel töötada rakendusuuringutega energiavõsa kasvatamiseks ning varem töötanud hüdroelektrijaamade taastamise ja uute minihüdroelektrijaamade rajamisvõimaluste väljaselgitamisega. Taastuvenergia kasutuselevõttu ei peetud majanduslikult otstarbekaks, kuid huvi selle vastu siiski väljendati. Sooviti proovida soojuspumpade kasutamist praktikas ning selgitada välja võimalused nende tootmiseks ühishfirmades.

Taasiseseisvumise järel tuli Eesti energiamajanduses, eelkõige soojamajanduses, teha kiireid ümberkorraldusi. Imporditud kütusest 75% kasutati soojuse tootmiseks, kütuseliigiti järgmiselt: masuut 40%, maagaas 24%, kivisüsi 7% ja küttepetrool 4% (Energiasäästu sihtprogramm, 1992). Selle sihtprogrammi andmetel oli kommunaal-elukondliku soojavarustust teenindavates kateldes küttemasuudi osakaal 62%, maagaasil 25%, kivisüel 11% ja küttepetroolil 2%. Riiklikult võeti selles programmis sihiks saavutada 4–5 aastaga imporditava kütuse vajaduse vähenemine kuni poole võrra ning selle saavutamiseks nähti ette maksusoodustusi, energiasäästutoetusi, soodustingimustel laene ja säästule orienteeritud hinnapoliitikat. 1992. a energiasäästuprogrammi eesmärk oli 1998. aastaks täidetud ning importkütuste osakaal primaarenergia bilansis oli vähenenud 173 PJ-lt 80 PJ-ni (Koppel ja Ots, 2000). Kohalike kütuste, sh biomassi, kasutuselevõtu laiendamisele aitasid ajavahemikus 1992–2000 oluliselt kaasa välislaenu mahus

1,2 mld krooni (77,5 mln €) ja riikliku energiasäästu programmi rahastamine mahus 99,3 mln krooni (6,3 mln €).

Esmakordselt püstitati riiklik siht taastuvenergia kasutuselevõtuks 18. veebruaril 1998 Riigikogus kinnitatud „Kütuse- ja energiamajanduse pikaajalises riiklikus arengukavas“, kus see oli sõnastatud järgmiselt „Kavandatakse taastuvate energiaallikate ja turba kasutamise osatähtsuse suurenemist 2/3 võrra aastaks 2010 võrreldes aastaga 1996 ja soodustatakse investeeringute tegemist turba ja puitkütuste tootmise arendamisse“. Taastuvenergia osakaaluks primaarenergia tarbimises 2010. aastal planeeriti 13%, tegelikkuses kujunes taastuvenergia osakaaluks 2010. aastal 14,6%.

Kuigi 1998. aasta arengukava ei näinud otsesõnu ette taastuvate energiaallikate kasutuselevõtu toetamist elektriturul, võeti juba sama aasta juunis vastu energiaseaduse muudatused, mille tulemusena käivitati Eestis alternatiivselt toodetud elektrienergia ostukohustus alates 16.07.1998. Samas arengukavas planeeriti mootorikütustele ja kütetõelidele diferentseeritud aktsiisimaksude süsteemi, mille puhul sõltuksid aktsiisitasemed kütuste keskkonnoahtlikkusest ja Euroopa Liidu direktiividest. Mootorikütusena kasutatava biokütuse aktsiisivabastuseni jõuti Eestis 2005. aasta juulis ning see kehtis 2011. aasta juulini.

### **Detailsemad plaanid taastuvenergia kasutuselevõtuks**

1998. aasta arengukava nägi ette kahe põhjalikumalt taastuvenergeetikat käsitleva valdkondliku programmi koostamise. Nendeks olid kava tuule- ja hüdroenergiaseadmete rakendamise ja kasutamise stimuleerimiseks või doteerimiseks ning turba, biokütuste ja teiste taastuvate energiaallikate majanduslikult põhjendatud rakendamine energia tootmisel.

1999. aasta märtsis valminud „Tuule- ja hüdroenergeetika arendamise stimuleerimise kava“ pidas tuule- ja hüdroenergeetika arendamiseks vajalikuks käivitada ülikoolide juures taastuvenergeetikaspetsialistide ettevalmistust, arvestatavat (50 mln kr aastas) valdkondlike pilootprojektide rahastamist, riigieelarvest tuule- ja hüdrojaamade liitumistasude rahastamist, taastuvenergeetika teabekeskuste loomist, maakonnaplaneeringutes perspektiivsete tuule- ja hüdroenergia tootmise alade piiritlemist, ettevõtetes tuule- ja hüdroenergeetikasse tehtud investeeringute tulumaksuvabastust ja hüdroelektrijaamade ehitamisel üleujutatavate maade kompenseerimist. Sama kava ühest soovitusel kannustatuna jõuti Majandusministeeriumi juures tegutseva Taastuvenergeetika Nõukogu moodustamiseni 24. oktoobril 2000. a.

Taastuvenergeetika Nõukogu tegeles põhjalikult turba, biokütuste ja teiste taastuvate energiaallikate majanduslikult põhjendatud rakendamise kava ettevalmistamisega. Töö tulemusena kinnitati mais 2001 Taastuvenergeetika Nõukogus ettekanne „Taastuvenergiaallikate majanduslikult põhjendatud rakendamine energia tootmiseks“. Ettekandes pakuti, et taastuvate energiaallikate panus primaarenergiaga varustatuses võiks ajavahemikul 2001–2010 suurenda 19 PJ võtta. Et taastuvate energiaallikate kasutuselevõtt ei olnud majanduslikult otstarbekas, pakuti põhiliseks meetmeks rahalise abi andmist investeeringuteks või tegevustoetusi. Nende vajalikuks iga-aastaseks eelarveks hinnati 440 mln kr (28,1 mln €/a). Toetuste rahastamise allikana nähti riigieelarvet, kuhu täiendav tulu oleks laekunud täiendavatest või uutest sihtotstarbelistest energiakandjate aktsiisidest.

Dokumendis mainiti ka taastuvenergia eesmärki aastaks 2050: vähemalt 75% soojus- ja elektrienergia vajadusest tuleks sellel aastal täita taastuvenergiaallikate abil.

Taastuvenergeetika Nõukogu ettekande põhjal koostati Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumis programmi „Taastuvate energiaallikate ja turba rakendamise riiklik programm aastani 2010“ eelnõu, mis nägi ette 26 tegevust programmi realiseerimiseks, näiteks fossiilkütustele rakendatava süsinikumaksu kehtestamist, kütuste kvaliteedi reguleerimist, elektrivõrguga liitumise lihtsustatud korda väikestele taastuvelektrijaamadele, maakondlike taastuvenergia teemaplaneeringute koostamist, taastuvenergia alase teabe levitamist ja teadlikkuse tõstmist, mõnede rakendusuuringute läbiviimist jne. Kuigi ametliku kehtestamiseni see programm ei jõudnud, viidi järgnevatel aastatel jooksul vähemal või rohkemal määral ellu 16 programmis loetletud tegevust. Keskseks küsimuseks eelmise kümnendi algupoole taastuvenergia energeetikavaldkonna poliitikakujunduses sai Eesti liitumisläbirääkimistel Euroopa Liiduga saavutatud kokkulepete täitmine, sh indikaativse taastuvatest energiaallikatest toodetud elektri osakaalu eesmärgi saavutamine. Tulenevalt liitumislepingust pidi elektri kogutarbimisest aastal 2010 taastuvenergiaallikatest toodetud elekter moodustama 5,1%, tegelikkuses ületati see eesmärk kahekordselt (10,4%).

### **Lahendused, mis viivad edasi**

Oleme täna kursil, mille järgi küündib aastaks 2020 taastuvenergia osakaal Eestis energia lõpptarbimises 30%-ni. Aastaks 2030 oleme seadnud eesmärgi saavutada vähemalt 42% taastuvenergia osakaalu energia lõpptarbimises. Kui taastuvenergia arendamisel õnnestub kasutada ka tehinguid teiste liikmesriikidega, võime küündida isegi 50%-ni.

Suur osa sellesse eesmärgi panustab soojusmajandus, kus taastuvenergia osakaalu kasv on olnud ka seni kõige kiirem, ületades kaugküttes juba 50% piiri. Ka elektritootmises on taastuvelektri osakaal tegemas võidukäiku koos vanemate põlevkivielektrijaamade konkurentsivõime kahanemisega. Kui käimasoleva kümnendi esimesel poolel vedasid kasvu suured tuulepargid ning asulaid taastuvenergiaga varustavad soojuse ja elektri koostootmisjaamad, siis viimasel ajal on kiiremat kasvu ning arengut näidanud väiksema võimsusega tootmisüksused. Globaalne päikesepaneelide hinnalanguse tulem on viimaks jõudnud ka Eestisse – Eestisse kerkib üha enam paarikümne kuni paarisaja kilovatise võimsusega päikeseelektrijaamasid. Koos tehnoloogiate odavnemise ja regulatsioonide lihtsustumisega on taastuvenergia tootmisest saamas tavapärane ettevõtlusvorm. Järjest enam hooneid suudavad kaaluka osa oma aastasest energiatarbimist katta kohapealse või hoone fassaadielementi integreeritud tootmisega.

Aastaid on taastuvenergia arengu vaates vaeslapse rollis olnud meie transpordisektor. Kui teistes sektorites on taastuvenergia arengut vedanud lisaks riiklikele eesmärkidele ka kohaliku kogukonna ja ettevõtte ettevõtlushuvi, siis transpordis see nii ei ole toimunud. Pikalt oleme olnud Euroopa Liidu riikide arvestuses oma taastuvenergia osakaalu-ga transpordis punase laterna rollis. Transpordis taastuvenergia osakaalu suurendamise lahendused on tähendanud üksnes kallite taastuvate vedelkütuste importi ning selleks sisse seatud biokütuste bensiini ja diisli-se segamiskohustus sisuliselt toetuskeemi välismaistele tootjatele.

Viimasel ajal on selles sektoris olnud positiivsed arengud. Järjest suuremat rolli transpordi taastuvenergia osakaalu suurendamisel täidab kodumaine rohegaas. Selleks on tulnud turgutada nii rohegaasi tarbimise kui tootmise poolt. Pikk ettevalmistustöö peaks hakkama nüüd esimesi nähtavaid vilju kandma. Keskkonnasõbralikule rohegaasile on tänaseks oma ühistranspordi üle viinud näiteks Pärnu linn, loodetavasti leiab see eeskuju järgimist ka teistes linnades. Justnimelt ühistranspordi või teiste avaliku sektori hangitavate teenuste puhul on võimalik transpordi taastuvenergia osakaalu saavutada viisil, mis on ühtaegu soodsam alternatiivsetest lahendustest ja võimaldab eesmärgi saavutamiseks vajalikud investeeringud suures osas Eesti majandusse tagasi suunata. Rohegaasi tootmist on võimalik vastastikuselt kasulikult integreerida nii põllumajanduse kui metsanduse väärtusloome ahelatesse. Need julgustavad arengud transpordis võimaldavad ka selles sektoris taastuvenergia osakaalu suurendamist vaadelda väljakutsena, mis panustab Eesti majanduse üldisesse konkurentsivõime kasvu.

Seega annab seni energeetikasektoris tehtu vajaliku kindluse, et valitud on õige teeots, mis viib meid ka edasi. Oleme oma energiamajanduse süsiniku jalajälge juba tunduvalt vähendanud ja seda mitte majanduse konkurentsivõime või kasvu pärssimise arvelt. Leitud on lahendused, mis panustavad mõlemasse eesmärki.

### **Kasutatud kirjandus**

Energiasäästu sihtprogramm 1992. Kinnitatud Eesti energiasäästu riikliku komisjoni esimehe Tiit Vähi poolt 24. juulil 1992. a

Eesti Vabariigi energeetika arengukava (aastani 1995). 1991.

Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava. 1998. <https://www.riigi-teataja.ee/akt/74811>, 1998

Koppel, M., Ots, M. 2000. Taastuvate energiaallikate kasutamine Eestis. – Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine: esimese konverentsi kogumik, Tartu 2000.

### **ENERGY ITEMIZED AND IN GENERAL**

Timo Tatar, Kristiina Tammeraid, Rein Vaks, Madis Laaniste

The article provides a overview of Estonian energy sector and challenges its faces today. It takes a look how European Union role has evolved in centrally coordinating memberstates energy and climate policy. What have been those remarkable milestones on the way from Kyoto protocol and Lisbon Treaty to Clean Energy package? The article explains what is the plan Estonia is going to follow in order to give its fair share to Paris Climate Agreement and to tackle challenges planet Earth is facing.



# KOOSTÖÖ SÄÄSTVA ENERGEETIKA EDASIVIIMISEKS KESK- JA IDA-EUROOPAS

Elis Vollmer

Eesti Maaülikooli taastuenergia keskus

elis.vollmer@emu.ee

2050. aastaks on Euroopa liit seadnud endale ambitsioonika eesmärgi – vähendada oma emissioone 80-95% võrreldes 1990. aasta tasemega. Selle eesmärgi saavutamine muudab Euroopa kõrge energiatõhususe ja madala süsinikusisaldusega majandusruumiks, mis loob omakorda kümneid tuhandeid uusi töökohti ning parandab oluliselt siinse elanikkonna elukvaliteeti. Ühest küljest on just seadusandjatel oluline ülesanne luua sobiv seadusandlik raamistik, mis soodustaks pikaajalist säästva energeetika arengut ning majanduse muundumist madala süsinikuheitega majanduseks. Samas, puudulik avalikkuse toetus takistab vajalike muudatuste elluviimist ning põhjustab asjatuid viivitusi. Avalikkuse vastuseisu peetakse üheks peamiseks Euroopa Liidu regulatsioonide elluviimise takistajaks. Seetõttu on efektiivne huvigruppide kaasamine ning rohujuuretasandi algatuste toetamine kriitilise tähtsusega Euroopa Liidu ülest eesmärkide saavutamiseks vajalike tegevuste elluviimiseks.

2016. aastal alustas Tartu regiooni energiaagentuuri eestvedamisel tööd 13-liikmeline meeskond 11 Kesk- ja Ida-Euroopa riigist, et välja töötada säästvale energeetikale ülemineku soodustamise meetmed endistes nõukogude liidu riikides. Projekti keskne idee toetub kohalike algatuste ja huvirühmade võimekuse tugevdamisele oma kogukonnas madala süsiniku-sisaldusega majandusele üleminekuks vajalike tegevuste elluviimiseks.

Selleks läheneti teemale neljal eri moel (joonis 1):

## ***1. Regionaalsed visioonid ja strategiad kohalikele kogukondadele***

PANEL2050 projekti raames koostasid 11 Kesk- ja Ida-Euroopa regiooni strateegilise plaani ning detailsemad tegevuskavad, et suunata oma kogukonna liikumist madala süsinikuheitega majanduse suunas. Projekti raames töötati välja sobiv metoodika ning vormid, mis on kergelt korratavad ka projektivälistes regioonides. Kogu planeerimisprotsess on nelja-etapiline, kusjuures iga järgnev aste toetub eelmisele:

- Piirkonna kaardistamine ja taustauuring hetkeolukorra kirjeldamiseks
- Visiooni kirjeldamine
- Strateegia koostamine
- Detailsemate tegevusplaanide koostamine

## PANEL2050 mudel kesk- ja ida-euroopa säästva energeetika võrgustikule CEESEN



Joonis 1. PANEL2050 strateegilise planeerimise ja kaasamise mudel  
Figure 1. The stakeholder engagement and roadmapping model of PANEL2050

### 2. Efektiivsem huvigruppide kaasamine

Efektiivse strateegilise planeerimisprotsessi toetamiseks töötati välja huvigruppide kaasamise meetodid iga planeerimisetapi jaoks. Oluline on teadvustada, et läbi mõeldud ja järjepidev kaasamine annab olulist sisendit nii planeerimisprotsessi kui suurendab ka kogukonna toetust elluviidavatele tegevustele.

### 3. Kohalike huvigruppide kaasamine ja koolitamine

Projekti raames kaardistasid 11 osalevat piirkonda oma huvigrupid, kaasasid neid planeerimisprotsessi ning viisid läbi erinevaid koolitusi huvirühmade esindajate oskuste tugevdamiseks säästva energeetika planeerimise, kaasamisprotsesside, rahastamise ja avalikustamise osas.

### 4. Kohalike säästva energeetika eestvedajate oskuste tugevdamine

Projekti raames kaardistatud huvigruppidest valiti välja kõrge potentsiaaliga esindajad, kes osalesid nädalasel praktilisel intensiivkursusel mis aitab neil oma valdkonnas vajalikke tegevusi veelgi efektiivsemalt ellu viia. Lisaks andis koolitus võimaluse erinevate riikide esindajatel omavahel koostöösidemeid sõlmida, et arendada rahvusvahelist ühistegevust.

Kõik projektis välja töötatud juhised ja materjalid on kättesaadavad projekti kodulehel - [www.ceesen.org](http://www.ceesen.org)



Joonis 2. CEESSEN võrgustiku liikmete geograafiline paiknemine 2018. aasta augusti seisuga.  
Figure 2. CEESSEN members' geographical coverage as of August 2018

Regionaalse koostöö soodustamiseks loodi Kesk- ja Ida-Euroopa säästva energia võrgustiku moodustamine (*Central and Eastern Europe Sustainable Energy Network* - CEESSEN), mis ühendab selles piirkonnas töötavaid huvigruppe veebiplatvormi ([www.ceesen.org](http://www.ceesen.org)) abil. 2018. aasta sügiseks oli CEESENil juba üle 400 liikme rohkem kui 14 riigist. **Võrgustikuga liitumine on tasuta, selleks tuleb võrgustiku kodulehel täita registreerimisvorm ning kinnitada meile saadetud link.** Võrgustiku eesmärgiks on säästva energeetika ning kaasamise teemaline infovahetus erinevate organisatsioonide ja riikide vahel. Liikmetel on juurdepääs võrgustikus levitatavatele materjalidele, koostatutele ning võrgustiku korraldatavatele üritustele. Lisaks on võimalik leida valdkondlikke koostööpartnereid teistest võrgustikuga liitunud riikidest.

Pikemas perspektiivis plaanib CEESENi võrgustik saada Kesk- ja Ida-Euroopa riikide eestkõnelejaks ja lüliks Euroopa Liidu seadusloome juures, et esindada just meie regioonile omaseid huve ja säästvale energeetikale ülemineku kitsaskohti.

Järgmine CEESENi liikmete kohtumine toimub 2019. aasta jaanuaris, kui võrgustiku eestvedajad korraldavad Tartus konverentsi, mis keskendub Kesk- ja Ida-Euroopa regiooni säästva energeetika arendamisele ja regionaalsetele eripäradele. Tuleva konverentsi kohta leiab rohkem infot: <http://ceesen.emu.ee/>

*PANEL 2050 projekt on saanud rahalist toetust Euroopa Liidu rahastamisprogrammist Horisont 2020, mis rahastab teadustöö ja innovatsiooniga seotud projekte (grant 696173).*

# BIODIISLIKÜTUSE LISANDI MÕJU DIISELMOOTORI PÕLEMISPROTSESSILE

Risto Ilves, Arne Küüt, Jüri Olt  
Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut  
[risto.ilves@emu.ee](mailto:risto.ilves@emu.ee)

Kütuselisandite kasutamine kütustes on maailmas laialdaselt levinud. Peamiselt kasutatakse mootoribensiini- ja diislikütuselisandid, mis tootjate andmetel seovad kütuses olevat vaba vett, puhastavad mootorite toitesüsteeme ning vähendavad kütusekulu põlemisprotsessi efektiivsemaks muutmisega. Lisandeid on välja töötatud ka biodiislikütusele, näiteks Valvoline VPS HD Diesel system Complete. Tootja andmetel puhastab lisand mootori toitesüsteemi ning tagab mootori ettenähtud võimsuse, mis võib biodiislikütuse kasutamisel mõnevõrra väheneda. Lisaks vähendab lisand heitgaaside tahmasust. Eeltoodust võib järeldada, et lisand peab mõjutama oluliselt mootori põlemisprotsessi, et tagada eelmainitud näitajate paranemist. Artiklis analüüsitakse kütuselisandiga (AD) biodiislikütuse (RME\_AD), biodiislikütuse (RME) ja diislikütuse mõju diiselmootori põlemisprotsessile. Täpsemalt käsitletakse põlemisrõhu ja -faaside muutust, energia eraldumist väntvõlli pöördnurga suhtes ja summaarse/koguenergia vabanemise väärtusi ning silindris tehtud tööd. Lisaks tuuakse välja mootori efektiivsus ja ökonoomsusparameetrid ning heitgaaside emissioon. Tulemustest selgub, et kütuselisandil ei ole olulist mõju mootori põlemisprotsessile. Samas väheneb mõnevõrra mootori heitgaaside tahmasus.

**Märksõnad:** diislikütus, biodiislikütus, RME, survesüütega mootor, energia HRR, energia eraldumine

## Sissejuhatus

Kütustelisandite ja lisandainete mõju sisepõlemismootoritele on uuritud mitmetes teadustöödes (Barauskas jt, 2015; Kreibergs jt, 2014; Küüt jt, 2014; Mägi, 2015; Patil jt, 2013; Küüt jt, 2015; Soveran jt, 2001; Zerda jt, 2001; Wilkins jt, 1990; Lapuerta jt, 2008). Tulemustest selgub, et mitmed lisandid avaldavad mõju mootori väljundparameetritele ning emissioonile. Uurimistöödes toodud lisandid on spetsiifilised ning mõjutavad kütuses kindlat parameetrit, näiteks tsetaaniarvu või hapnikusisaldust (Soveran jt, 2001; Patil jt, 2013). Universaalsed lisandid, mille puhul ei ole täpsustatud paren-datav kütuse omadus, üldjuhul ei mõjuta mootori efektiivsusparameetreid (Kreibergs jt, 2014). Seetõttu on kütustelisandite kasutamise efektiivsus küsitav ning nende mõju mootorile oluline uurida. Kütuselisandeid on välja töötatud ka biokütustele, näiteks biodiislikütusele, kuid nende puhul on lisandite mõju mootori väljundparameetritele

ja heitgaaside emissioonile väiksem võrreldes diislikütusega (Valipour jt, 2014). Selle põhjuseks on biokütuste erinevad füüsikalised-keemilised omadused diislikütusega võrreldes. Universaalsed kütuselisandid biokütustele üldjuhul ei parenda mootori efektiivsus- ja ökonoomsusparameetreid. Mõnevõrra võib paraneda mootori heitgaaside emissioon (Baranauskas jt, 2015).

Teadustöodes kütuselisandi mõju uurimisel mootori efektiivsus- ja ökonoomsusparameetritele ei analüüsita sageli põlemisprotsessi, mistõttu on raske hinnata kütuselisandi mõju kütuse põlemisele. Näiteks ka Baranauskase jt (2015) artiklis ei ole analüüsitud universaalse lisandi Valvoline VPS HD Diesel system Complete kasutamisel põlemisprotsessi, mistõttu ei ole võimalik hinnata selle lisandi mõju küttesegu põlemiseefektiivsusele. Seetõttu käsitletakse käesolevas uurimistöös eelnimetatud kütuselisandi mõju põlemisprotsessile Baranauskase jt 2015 artiklis toodud andmete ja analüüsi täiendamiseks.

Antud artikli eesmärgiks on analüüsida kütuselisandi Valvoline VPS HD Diesel system Complete mõju diiselmootori põlemisprotsessile, kui kasutatakse biodiislikütust (RME). Analüüsi käigus tuuakse välja energiaeraldumise suhe väntvõlli pöördenurga suhtes (HRR), summaarse eraldunud energia (HR) ja mootori silindris tehtud töö andmed. Lisaks vaadeldakse põlemisfaaside muutust diislikütuse, biodiislikütuse ja kütuselisandiga biodiislikütuse kasutamisel. Diislikütuse andmete võrdlemine on oluline, et mõista, millised muutused põlemisprotsessis on tingitud kütuste omadustest ja millised kütuselisandist.

## **Materjal ja metoodika**

Kütuselisand Valvoline VPS HD Diesel system Complete on ette nähtud segamiseks biodiislikütusega vahekorras 1/1000. Diiselmootori käivitumise parendamiseks või tahmasuse vähendamiseks võib lisandit kasutada suuremas osakaalus. Täpsemalt on kirjeldatud kütuselisandit Baranauskase jt (2015) artiklis.

Kütuselisandi Valvoline VPS HD Diesel system Complete mõju uurimiseks diiselmootori põlemisprotsessile on segatud biodiislikütuse (RME) ja lisandi segu vahekorras 1/100. Katsekütusteks mootorikatsetustel on lisaks RMEle kasutatud diislikütust. Diislikütuse ja RME füsikeemilised omadused on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Katsekütuste omadused vastavalt standarditele EN 14214 ja EN 590 (Baranauskas jt, 2015)

Table 1. Properties of test fuels according to the EN 14214 and EN 590 standards

RME			Diislikütus		
Nimetus	Mõõtühik	Tulemus	Nimetus	Mõõtühik	Tulemus
Tihedus temperatuuril 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	884,7	Tihedus temperatuuril 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	829,1
Tsetaaniarv	-	53,4	Tsetaaniarv	-	54
Kinemaatiline viskoossus at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	4,789	Kinemaatiline viskoossus at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2,067
Leekpunkt	°C	178	Leekpunkt	°C	60,5
10% destillatsiooni-jäägi koksiaarv	%	0,29	10% destillatsiooni-jäägi koksiaarv	%	0.022
Oksüdatsioonistaabiilsus	g/m <sup>3</sup>	6,4	Oksüdatsioonistaabiilsus temp. 110 °C	g/m <sup>3</sup>	4
Korrosiivsus vask-plaadikatsel (3 tundi temp. 50 °C)	klass	Class 1	Korrosiivsus vask-plaadikatsel (3 tundi temp. 50 °C)	klass	Class 1a
Veesisaldus	mg/kg	250	Veesisaldus	mg/kg	29
Tuhasisaldus	%	0,005	Tuhasisaldus	%	0,0023
Külmfiltris-ummistumispunkt	°C	-20	Külmfiltris-ummistumispunkt	°C	-40
Koksiaarv	mg KOH/g	0,21	Määrimisvõime (wsd 1,4) at 60 °C	µm	432
Joodiaarv	-	111,1	Destilleerunud osa temperatuuridel 250 °C, 350 °C	%	1,5 97,5
Mono-klütseriidi arv	% wt.	0,70	95% (V/V) recoverd at	°C	329,2
Linoleenhappe sisaldus	% wt.	7,9	Rasvhapete metüülesterite sisaldus	%	<0,05
Metanooli sisaldus	% wt.	0,01	Väävli osakaal	mg/kg	7,6
Glütseriidid: monoklütseriid di-klütseriidid tri-klütseriidid vada glütseriid Üldine glütseriidide sisaldus	% wt. % wt. % wt. % wt. % wt.	70 19 19 0,005 24			
Esimese grupi metallide arv (Na+K)	mg/kg	2,3			
Teise grupi metallide arv (Ca+Mg)	mg/kg	4,7			
Fosfori arv	mg/kg	1,9			

Katsetustel on mõõdetud mootori efektiivsuslikud parameetrid täiskoormusel ning koostatud mootori regulaatorarakteristik. Katsemootoriks oli Valmet 320 DS, mille tehnilised andmed on toodud tabelis 2.

*Tabel 2. Katsemootori Valmet 320 DS tehnilised andmed*  
*Table 2. Test engine Valmet 320 DS technical characteristics*

Nimetus	Väärtus
Nimivõimsus	62kW / 2400p/min
Maksimaalne pöördemoment	285Nm/1300 p/min
Tahmasus nimivõimsusel	2,8 (FSN)
Tahmasus pöörlemissagedusel 1600 p/min	3,5 (FSN)
Tahmasus mõõtemetoodika MM04-2005 järgi	3,0 (FSN)
Toitsüsteem	Reastüüpi kõrgrõhupump
Pritsenurk	19 kraadi EÜSS

Põlemisprotsessi on analüüsitud mootori nimivõimsusel ning maksimaalsel pöörde-momendil. Katsetuste käigus mõõdeti mootori väntvõlli pöörlemissagedust, pöörde-momenti, õhu- ja kütusekulu, heitgaaside tahmasust ja põlemisrõhku. Lisaks mõõdeti mootoriõli ja jahutusvedeliku temperatuuri. Katseseadmed on toodud tabelis 3.

*Tabel 3. Katseseadmed (Ilves, 2014)*  
*Table 3. Test equipment (Ilves, 2014)*

Mootorite katsestend Schenck Dynas 3 LI 250	
Maksimaalne võimsus	650 Nm
Maksimaalne pidurdusvõimsus	250 kW
Maksimaalne pöörlemissagedus	12 000 rpm
Mõõtetäpsus	0,1 %
Kütusekulu mõõtesead AVL 7351	
Mõõteulatus	0 – 125 kg/h
Mõõtesüsteemi mõõtemääramatus	≤ 0,12% (vastab stand. DIN 1319)
Reageerimisaeg:	< 125 ms
Põlemisrõhu mõõtesüsteem AVL 621	
Signaalivõimendi	AVL 2P2E
Rõhuandur GH13P	täpsus ≤ 1,5%.
Õhukulu mõõtesüsteem Suprefow	
Superfolw	labatüüpi
Heitgaaside analüsaator Bosch BEA 350	
CO mõõteulatus 0,000 – 10,00% vol	Mõõtetäpsus 0,001%
CO <sub>2</sub> mõõteulatus 0,00 – 18,00% vol	Mõõtetäpsus 0,01%
HC mõõteulatus 0 – 9999 ppm vol	Mõõtetäpsus 1ppm vol
O <sub>2</sub> mõõteulatus 0,00 – 22,00% vol	Mõõtetäpsus 0,01% vol
λ mõõteulatus 0,500 – 9,999	Mõõtetäpsus 0,001
NO mõõteulatus 0 – 5000 ppm vol	Mõõtetäpsus ≤ 1ppm vol
Heitgaasi läbipaistmatus 0 – 100%	Mõõtetäpsus 0,1%
Neeldumiskoeffitsent 0 – 10 m <sup>-1</sup>	Mõõtetäpsus 0,01 m <sup>-1</sup>

Mootori efektiivsus- ja ökonoomsusparameetrid on arvatud üldtuntud valemite põhjal ning leitavad kirjandusallikast Heywood (1988). Põlemisprotsessi põlemisfaasid on jaotatud kuueks: 1) süüteviivise faas; 2) termilise tasakaalu faas; 3) kiire rõhutõusu faas; 4) põlemise faas; 5) kiire rõhulangetuse faas; 6) aeglane rõhulangetuse faas (Olt jt, 2015). Energia eraldumine väntvõlli pöördenurga suhtes (HRR) on arvatud järgmiselt (Heywood, 1988):

$$\frac{dQ_n}{d\varphi} = \frac{\gamma_{hr}}{\gamma_{hr}-1} p \frac{dV}{d\varphi} + \frac{1}{\gamma_{hr}-1} V \frac{dp}{d\varphi} \quad , \quad (1)$$

kus  $Q_n$  – energia kogus mis vabaneb kütuse põlemisel silindris;

$t$  – väntvõlli pööramiseks kuluv aeg;

$\gamma_{hr}$  – isoentroobi astendaja ( $\gamma_{hr} = 1,4$ ) (Merker jt, 2012)

$p$  – põlemisrõhk;

$\varphi$  – väntvõlli pöördenurk (CAD);

$V$  – silindrimaht.

Põlemisel vabanev koguenergia (HR) avaldub valemiga (Heywood, 1988):

$$Q_n = \frac{dQ_n}{d\varphi} + Q_{n.\varphi-1} \quad (2)$$

kus  $Q_n$  – energiakogus, mis vabaneb kütuse põlemisel silindris;

$Q_{n.\varphi-1}$  – HRR.

Silindris tehtav töö ühes töötsüklis avaldub valemiga (Heywood, 1988):

$$W_n = \int p dV_c \quad (3)$$

Silindrisse suunatud teoreetiline energiakogus (Heywood, 1988):

$$Q_{n.teor} = \int_{\varphi_b}^{\varphi_{end}} \frac{dQ_{n.teor}}{d\varphi} d\varphi = q \cdot Q_{f.teor} \quad (4)$$

kus  $\varphi_b$  ja  $\varphi_{end}$  – väntvõlli pöördenurgad, mis tähistavad põlemiprotsessi algust ja lõppu;

$q$  – töötsüklis silindrisse suuantud kütuse kogus;

$Q_{f.teor}$  – kütuse kütteväärtus.



Ühes töötsüklis silindrisse suuantud kütuse kogus ( $\text{cm}^3 \text{ c}^{-1}$ ) avaldub valemiga (Ilves, 2014):

$$q = \frac{\frac{B_f}{i \cdot 60 \cdot 0,001 \cdot \rho_{fuel}}}{N_c} \cdot 1000 \quad (5)$$

kus  $B_f$  – kütuse tunnikulu;

$N_c$  – minutis tehtud töötsüklite arv;

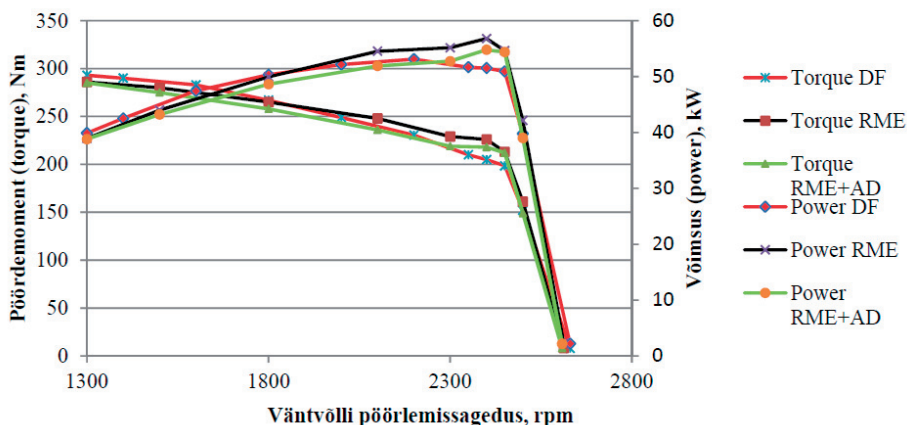
$\rho_{fuel}$  – kütuse tihedus;

$i$  – silindrite arv.

Mootorikatsetused viidi läbi kolme kütusega: 1) diislikütusega (DF); 2) biodiislikütusega (RME); biodiislikütuse ja kütuselisandi Valvoline VPS HD Diesel system Complete seguga (RME\_AD). Mootorikatsetuse andmed diislikütusega on välja toodud, et anda parem ülevaade võimalikest muutustest erinevates parameetrites ning mõistmaks, millised muutused on tingitud RMEkütusest ning kuidas mõjutab kütuselisand mootori efektiivsus- ja ökonoomsusnäitajaid.

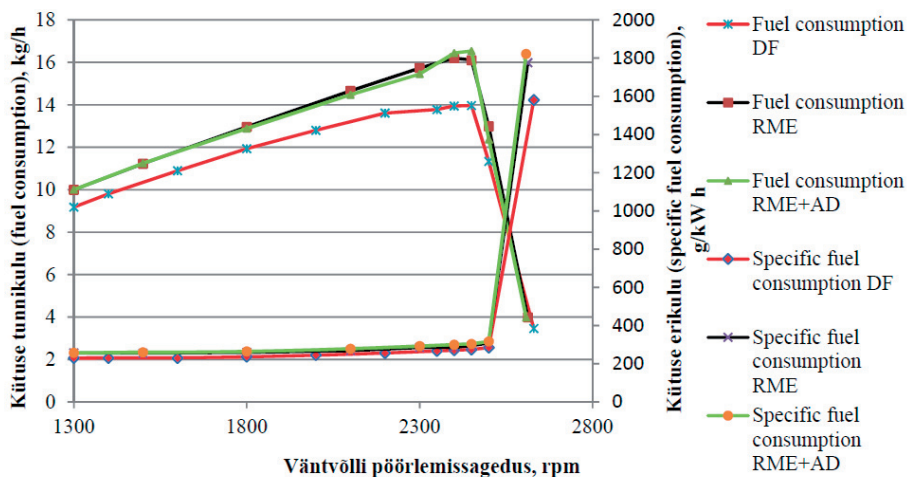
## Tulemused ja arutelu

Mootorikatsetuste tulemusel saadud võimsuse ja pöördemomendi graafikud on toodud joonisel 1. Joonisel 2 on toodud kütuste tunni- ja erikulu graafikud. Joonisel 1 on näha, et mootori pöördemoment ja võimsus kütuselisandi kasutamisel mõnevõrra, ~6 %, väheneb. Diislikütuse kasutamisel jäävad pöördemomendi ja võimsuse näitavväärtused samasse suurusjärku, mis RME ja RME ning kütuselisandi segu kasutamisel. Jooniselt 2 selgub, et tunnikulu on RME ja kütuselisandiga kütuse kasutamisel sarnane. Võrreldes diislikütuse kasutamisega on RME ja RME\_AD tunnikulu suurenenud ~13%. Kütusekulu



Joonis 1. Mootori võimsus ja pöördemoment (Baranauskas jt, 2015)

Figure 1. Engine power and torque



Joonis 2. Mootori kütuse tunnikulu ja erikulu (Baranauskas jt, 2015)

Figure 2. Engine fuel consumption and specific fuel consumption

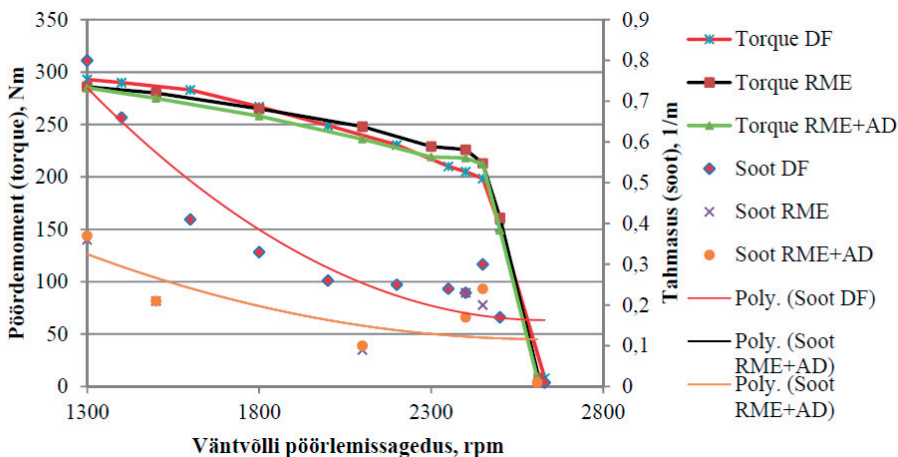
suurenemine on tingitud RMEkütuse madalamast kütteväärtusest ning suuremast tihe-  
dusest võrreldes diislikütusega.

Mootori nimivõimsusel kütuse erikulu RME\_AD kasutamisel suureneb 5% võrreldes  
ainult RME kasutamisega.

Mootori maksimaalse pöördemomendi režiimis ( $n_e = 1300$  rpm) on kütuse erikulu eri-  
nevus  $\sim 1\%$ . Seega suureneb kütuse erikulu kütuselisandi kasutamisel. Võrreldes diisli-  
kütuse ja RME kasutamist, suureneb kütuse erikulu RME puhul nimivõimsusel 5% ja  
maksimaalse pöördemomendi režiimis  $\sim 10\%$ .

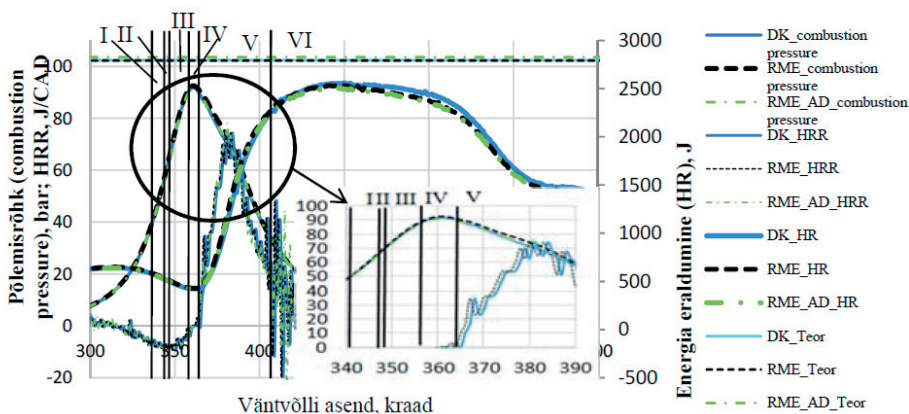
Eeltoodud joonistelt selgub, et kütuse erikulu on kõige suurem lisandiga kütusesegu  
puhul. Graafikute põhjal saab väita, et lisandiga kütuse puhul mootori kütusekulu ja  
kütuse erikulu ei vähene. Kütuse erikulu põhjal saab väita, et olulisi muutusi põlemis-  
protsessis ei toimu.

Mootori heitgaaside tahmasus on toodud joonisel 3. Jooniselt on näha, et heitgaaside  
tahmasus RME ja RME\_AD puhul oluliselt ei erine. Erisused on ligikaudu 0,01 ühikut.  
Seega ei oma kütuselisand olulist mõju tahma vähendamisel. Võrreldes RME ja diisli-  
kütuse kasutamisel tekkivat tahma osakaalu, on diislikütuse puhul tahma osakaal 45%  
suurem kui RMEl. Tahma osakaalu vähenemine biokütuste kasutamisel on tavapärane  
tendents ning on tingitud RME füüsiko-keemilistest omadustest (Pexa jt, 2016; Wang jt,  
2016).



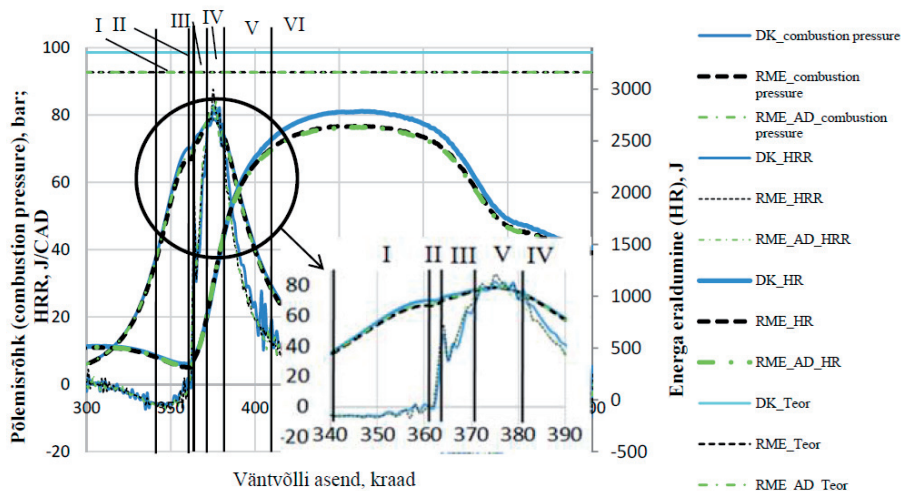
Joonis 3. Mootori tahmasus erinevatel koormustel  
Figure 3. Engine torque and soot emission

Eeltoodud andmete põhjal ei ilmne, et kütuselisand Valvoline VPS HD Diesel system Complete mõjutaks mootori võimsuslikke, ökonoomsuslikke ja tahmasuse parameetreid. Lisandi mõju mootori põlemisprotsessile on esitatud joonistel 4 ja 5.



Joonis 4. Põlemisprotsess mootori väntvõlli pöörlemissagedusel  $n_e = 2400$  rpm (põlemisfaasid I–VI)  
Figure 4. Combustion process on engine crankshaft rotational speed  $n_e = 2400$  rpm (combustion phases I–VI)

Jooniselt 4 selgub, et mootori nimivõimsusel ei erine põlemisrõhud erinevatel väntvõlli asenditel oluliselt. Seega ei ilmne, et kütuselisand mõjutaks põlemisprotsessi mootori



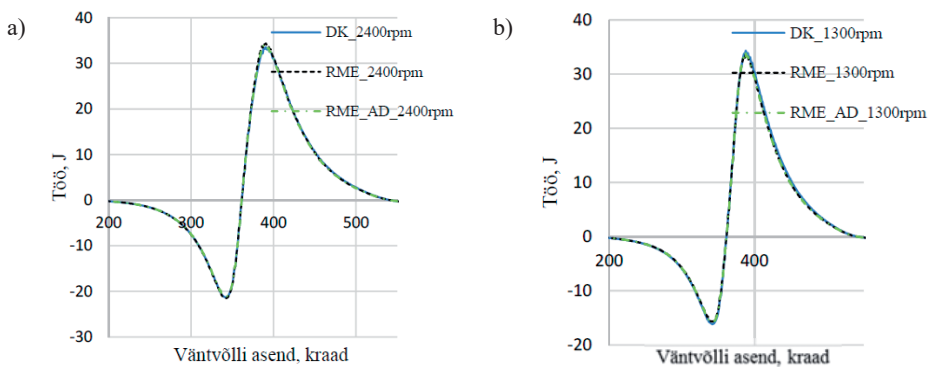
Joonis 5. Põlemisprotsess mootori väntvõlli pöörlemissagedusel  $n_e = 1300$  rpm (põlemisfaasid I–VI)

Figure 5. Combustion process on engine crankshaft rotational speed  $n_e = 1300$  rpm (combustion phases I – VI)

nimivõimsusel. Diislikütuse puhul langeb rõhk silindris põlemise V faasis kiiremini, kui RME ja RME\_AD kasutamisel. Selle põhjuseks on RME ja RME\_AD kütuse suurem osakaal silindris, mistõttu on põlemisel tekkivate gaaside kogus suurem. Vaadeldes HRRi graafikuid ilmneb, et RME puhul algab energia eraldumine 1 kraadi võrra kiiremini kui diislikütuse puhul. Võrreldes HRRi graafikut RME ja RME\_AD kasutamisel, siis olulisi erinevusi ei ole. Energia eraldumise graafik ilmestab, et silindris eraldub põlemisel sarnane kogus energiat erinevatel väntvõlli pöörlemissagedustel. Diislikütuse puhul on energia eraldumise väärtus 460 CADi juures suurem kui RME ja RME\_AD kasutamisel, kuid erinevus on väike ning ühtlustub 550 CADi juures. Selle põhjuseks on diislikütuse suurem põlemisefektiivsus, mis RME ja RME\_AD puhul on suurema heitgaaside koguse tõttu vähenenud. Põlemisefektiivsus on arvatud silindrisse suunatud energia ja põlemisel eraldunud energia suhtena. Põlemisefektiivsus diislikütuse puhul on ~91%, RME puhul ~90% ning RME\_AD puhul ~87%. Sellest ilmneb, et lisand pärssib kütuse põlemist silindris. Põlemisprotsess mootori maksimaalse pöördemomendi režiimis on toodud joonisel 5.

Jooniselt ilmneb, et RME ja RME\_AD kasutamisel ei erine põlemisrõhud mootori maksimaalse pöördemomendi režiimis  $n_e = 1300$  rpm. Samuti ei ole olulisi erinevusi HRRi ja HRi graafikutel, mis näitab, et lisand ei mõjuta põlemisprotsessi. Põlemisefektiivsus on RME kasutamisel ~80,5% ja RME\_AD puhul 80%, seega on see suurem

RME kasutamisel. Võrreldes RME- ja diislikütuse põlemisprotsessi, siis süüteviivise (I) perioodis on rõhk silindris diislikütuse kasutamisel kõrgem ning termilise tasakaalu faas (II) ~1 CADi võrra lühem. Selle põhjuseks võib pidada diislikütuse mõnevõrra kõrgemat tsetaaniarvu. Graafikult ilmneb, et HR on diislikütuse kasutamisel kõrgem pärast 400 CADi. HRRi graafikud on kõikide katsekütuste puhul sarnased. Põlemiseefektiivsus on diislikütuse puhul ~79% – selle efektiivsuse vähenemisega saab selgitada joonisel 3 toodud tahma osakaalu suurenemist diislikütuse kasutamisel. Silindris tehtav töö mootori nimivõimsusel ja maksimaalse pöördemomendi režiimis on toodud joonisel 6. Joonistel on näha, et erinevatel vāntvōlli asenditel tehtav töö jääb kõikide kütuste puhul samasse suurusjärku ja on kooskōlas kütuse erikulu erinevustega joonisel 2.



Joonis 6. Silindris tehtav töö mootori vāntvōlli pōõrlemissagedusel: a)  $n_e = 2400$  rpm ja b)  $n_e = 1300$  rpm

Figure 6. Cylinder work during engine crankshaft rotational speeds: a)  $n_e = 2400$  rpm and b)  $n_e = 1300$  rpm

Töö tulemustest selgub, et kütuselisand Valvoline VPS HD Diesel system Complete ei oma olulist mõju mootori efektiivsusparameetritele, põlemisprotsessile ja heitgaaside tahmasusele, kui kasutatakse RMEkütust. Analüüsi tulemustest selgub, et RME- ja diislikütuse võrdlemisel on peamiseks põlemisprotsessi mõjuteguriteks kütuste füüsilis-keemilised omadused ning kütuselisand kütuse omadusi ei parenda.

## Järeldused

Kokkuvõtteks kütuselisandi Valvoline VPS HD Diesel system Complete kasutamisel RMEkütuses saab ütelda:

1. Lābiviidud katsetuste pōõhjal vōib järeldada, et kütuselisand ei oma mõju mootori efektiivsuslikele parameetritele, põlemisprotsessile ja tahmasisaldusele heitgaasides.

2. Tahmasisaldus heitgaasides diislikütuse kasutamisel, võrreldes RMed ja RMed koos lisandiga, suureneb, mis on seotud põlemiseefektiivsuse vähenemisega mootori koormuse kasvades.
3. Põlemise energiaeraldumine vāntvōlli pōördenurga kohta ei erine diislikütuse, RME ja RME koos lisandiga kasutamisel oluliselt.
4. Põlemise energiaeraldumise näitardvud ei erine RME ja RME koos lisandiga kasutamisel oluliselt.
5. Mootori silindris tehtav tōō on diislikütuse, RME ja RME koos lisandiga puhul vōrdvāärne.

## Mārkus

Artikkel publitseeriti 15. rahvusvahelise teaduskonverentsi „Engineering for Rural Development“ kogumikus.

## Kasutatud kirjandus

- Baranauskas, R., Ilves, R., Kūūt, A., Olt, J. Influence of the biodiesel fuels with multi-functional additives on the diesel engine efficiency. – Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development, 2015.
- Heywood, J.B. 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill. 930 S.
- Ilves, R. FUEL SUPPLY SYSTEM OF PISTON ENGINE WORKING ON LIQUID BIOFUELS. Dissertation thesis, Estonian University of Life Sciences. 2014, Ecoprint, Estonia.
- Kreicbergs, J., Grislis, A., Zalcmanis, G, Rudzitis, J. Effect of modified diesel fuel on engine fuel efficiency. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Jelgava, 2014.
- Kūūt, A.; Ilves, R.; Vlasov, A.; Soots, K.; Olt, J.. Impact of bioethanol fuel on the output parameters of a two-stroke reciprocating engine. Engineering for Rural Development, Jelgava, 29.-30.05.2014. Latvia University of Agriculture, 2014, pp 288–295.
- Kūūt, Arne; Ilves, Risto; Hōnig, Valdimir; Vlasov, Andrey; Olt, Jūri The impact of bioethanol on two-stroke engine work details and exhaust emission. Agronomy Research, 13 (5), 2015, pp 1241–1252.
- Lapuerta, M., Herreros, J. M., Lyons, L., Garcia-Contreras, R., Briceno, 2008.Y. Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions. Fuel, Vol. 87, Iss.15–16, pp. 3161–3169
- Māgi, M. Effect of Gasoline Fuel Additives on Combustion and Engine Performance. Doctoral thesis, University College London, 2015.
- Merker, G. P., Schwarz, C., Teichmann, R. 2012. Grundlagen Verbrennungsmotoren.

- Funktionsweise, Simulation, Messtechnik, Aufgabe 6. Springer Fachmedien Wiesbaden gmgH.795 S. (in German)
- Olt, J., Mikita, V., Roots, J., Jasinskas, J. (2015) Cylinder Pressure Characteristics of Turbocharged and Naturally Aspirated Diesel Engines. *Annals of DAAAM for 2014 & Proceedings of the 25th International DAAAM Symposium*. *Procedia Engineering* 100, pp 350–359.
- Patil, A. R., Taji, S. G. Effect of Oxygenated Fuel Additive on Diesel Engine Performance and Emission: A Review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* ISSN(e): 2278-1684, ISSN(p): 2320–334X, 2013, pp 30–35
- Pexa, M., Čedík, J., Pražan, R. Smoke and NOX emissions of combustion engine using biofuels. *Agronomy Research*, 14(2), 2016, pp 547–555.
- Soveran, D.W., Sulatisky, M., Ha, K., Robinson, W., Stumborg, M. THE EFFECT ON DIESEL ENGINE EMISSIONS WITH HIGH CETANE ADDITIVES FROM BIOMASS OILS. Available: [https://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/37\\_1\\_SAN%20FRANCISCO\\_04-92\\_0074.pdf](https://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/37_1_SAN%20FRANCISCO_04-92_0074.pdf) (Dec. 2016)
- Valipour, A. A Review on Effect of Fuel Additives on Combustion, Performance and Emission Characteristics of Diesel and Biodiesel Fuelled Engine. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM)*, 2014, pp. 266–273.
- Wang, Z., Li, L., Wang, J., Reitz, R. D. Effect of biodiesel saturation on soot formation in diesel engines. *Fuel*, Volume 175, 2016, pp 240–248.
- Wilkins, A. J. J., Hanningon, N. A. The Effect of Fuel and Oil Additives on Automobile Catalyst Performance. *THE SUITABILITY OF PLATINUM METALS CONFIRMED*. *Platinum Metals Rev.*, 1990, 34, (1), pp. 16–24.
- Zerda, T.W., Yuan, X., Moore, S.M. Effects of fuel additives on the microstructure of combustion engine deposits. *Carbon* 39, *Permagon*, 2001., pp. 1589–1597.

# **BIODIISLIKÜTUSE LISANDI MÕJU DIISELMOOTORI PÕLEMISPROTSESSILE**

Risto Ilves, Arne Kүүt, Juri Olt

The use of fuel additives in engine fuels is a widespread tendency, and one which occurs on a worldwide basis. The most common area in the development of additives is for petrol and diesel fuel. The manufacturers claim that additives emulsify condensation water in the fuel tank, cleaning the fuel supply system and decreasing fuel consumption by improving the engine combustion process. Several additives have been developed for biofuels such as, for example, Valvoline VPS HD Diesel System Complete, which has been developed for biodiesel fuel. The manufacturers state that additives clean the fuel supply system and restore the engine power, which is something that could be reduced in cases in which biodiesel fuel is used. Moreover, soot emissions in exhaust fumes are decreased. According to the aforementioned points, fuel additives should have a significant impact on the engine combustion process in order to ensure improvements in the parameters that have been mentioned. In order to see the true picture, this article analyses the impact of biodiesel fuel with an additive, along with undiluted biodiesel fuel and diesel fuel, on the engine combustion process. More specifically, variations in the combustion pressure and combustion phases are being analysed. What is more, the heat release rate, heat release and cylinder working values are calculated, and the engine efficiency, fuel consumption, and exhaust emission levels are presented. The results indicate that this specific fuel additive does not have a significant impact on the engine combustion process.



# EUROOPA LIIDU ÕIGUSAKTIDE MÕJU VEDELATE BIOKÜTUSE KASUTAMISELE TRANSPORDISEKTORIS

Arne Küüt, Risto Ilves, Keio Küüt, Kaie Ritslaid, Jüri Olt

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut

Euroopa Liidus on keskkonnahoiu nõuete karmistamisel ühe meetmena nimetatud transpordisektoris kasutatavate tavakütuste asendamine biokütustega. Taastuvenergia ressurside direktiiv (RES-D – *Renewable Energy Sources Directive*) ja kütuse kvaliteedi direktiiv (FQD – *Fuel Quality Directive*) esitavad transpordisektoris kasutatavale mootorikütusele lisatava biokütuse kogusele miinimumnõuded. Esimene direktiiv näeb ette vähemalt kümneprotsendilist biokütuse kasutamise osakaalu transpordisektoris ja teine direktiiv vähemalt kuueprotsendilist kasvuhoonegaaside vähendamist kütuse tootmisel aastaks 2020. Probleemiks biokütuste kasutuselevõtmisel on direktiivide nõuetest arusaamine ja sellest tulenevalt nende täitmine. Oluline on teada, et ühe direktiivi nõuetele vastav kütusesegu ei pruugi täita teise direktiivi nõudeid. Eeltoodud probleemide lahendamiseks on koostatud meetodika, arutamaks kütusesegudes direktiividest tulenevat vajalikku vähimat biokütuse ja tavakütuse mahulist ning suhtelist kogust. Suhteliste koguste põhjal on koostatud näitlikud graafikud ja iseloomustatud biokütuse osakaalu kujunemist kütusesegus.

**Märksõnad:** seadusandlus, mootorikütus, miinimumnõuded, kütusesegu, kütuseturg. Sissejuhatus

Keskkonnatingimused maakeral on seoses tootmise ja tehnika arenguga tunduvalt halvenenud. Üheks näitajaks on globaalne soojenemine, mis on seotud otseselt kasvuhoonegaaside koguse märgatava tõusuga viimase saja aasta jooksul. Sellest tulenevalt on järjest tõsisemalt hakatud suhtuma CO<sub>2</sub> emissiooni vähendamisse ülemaailmselt (Pariis 2015). Algati Pariisi kliimakokkulepe globaalse soojenemise vähendamiseks pikesmas perspektiivis 2 °C (COP21). Üheks võimaluseks CO<sub>2</sub> emissiooni vähendamisel on energia efektiivsem kasutamine ja teiseks fossiilse kütuse asendamine biokütusega (Demirbas, 2009). Arenenumad riigid maailmas on võimalusi CO<sub>2</sub> emissiooni vähendamiseks ka eelnevalt käsitlenud ja koostanud sellekohaseid õigusakte, mis näevad ette biokütuste kasutamise osakaalu suurendamist energia lõpptarbimises. Käesoleva artikli eesmärk on käsitleda transpordisektoris kasutatavaid vedelaid mootorikütuseid ehk kütuseid.

Brasiilias on alates 1977. aastast kohustuslik, et mootorsõiduki kütuses on 20 mahuprotsenti etanooli. Euroopa Liidus on Brasiiliaga võrreldes transpordis kasutatavate biokütuste osas bioenergia kasutamist soodustavad nõuded mõnevõrra leebemad. ELis

on 2009. a vastu võetud kliimapakett taastuvate ressursside kasutamiseks, energiakasutuse vähendamiseks ning kasvuhoonegaaside kärpimiseks. Eelnimetatud kliimapaketi üldosa direktiiv RES-D ütleb, et aastaks 2020 peab biokütuste osakaal olema igas transpordiliigis energia lõpptarbimisest vähemalt 10% (Euroopa Nõukogu ja Parlamendi direktiiv 2009/28/EÜ, 23. aprill 2009, taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta ning direktiivide 2001/77/EÜ ja 2003/30/EÜ muutmise ja hilisema kehtetuks tunnistamise kohta, edaspidi direktiiv 2009/28/EC). Lisaks on oluline, et biokütus on toodetud taastuvatest energiaallikatest. FQD sätestab transpordisektori kütustele dekarboniseerimise mehhanismi, et vähendada kasvuhoonegaaside osakaalu (Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/30/EÜ, 23. aprill 2009, millega muudetakse direktiivi 98/70/EÜ seoses bensiini, diislikütuse ja gaasiõli spetsifikatsioonidega ja kehtestatakse kasvuhoonegaaside heitkoguste järelevalve ja vähendamise mehhanism ning millega muudetakse nõukogu direktiivi 1999/32/EÜ seoses siseveelaevades kasutatava kütuse spetsifikatsioonidega ning tunnistatakse kehtetuks direktiiv 93/12/EMÜ, edaspidi direktiiv 2009/30/EC). Eeltoodud direktiivist tuleneb, et kasvuhoonegaaside heitkogused energiaühiku kohta peavad 31. detsembriks 2020 vähenema vähemalt 6%. On püstitatud küsimused, et kas saab eelistada üht eelmainitud direktiivi teisele ja kui, siis kumba? Lisaks on taastuvenergia direktiiv (RED – *Renewable Energy Directive*) ja maakasutuse mõju arvestav direktiiv (ILU – *Indirect Land Use Change*), mis käsitlevad biokütuse efektiivsemat tootmist ja sõltuvust maakasutusest. Käesolevas artiklis nende direktiivide nõudeid ei käsitleta.

Kütust valmistavatel ettevõtjatel on probleemiks transpordis kasutatavate mootorikütuste asendamisel biokütustega direktiivide paljus ja nõuete keerulisus. Kuna biokütus on tavakütusest kõrgema hinnaga, on vaja välja selgitada, millised on nõuded biokütusesegus biokomponendi osakaalu miinimumkogusele. Järgnevalt on küsimus, et kas asendada fossiilset päritolu kütus bioloogilist päritolu kütusega täielikult või kasutada biokütusesegu, mis koosneb fossiilsest ja bioloogilisest toorainest toodetud kütustest? Võrreldes bioloogilist päritolu õlide kasutamisega (Raslaviučius ja Markšaitis, 2007) vajavad piirituse baasil kütused mootorite põhjalikumalt ümberehitust. Direktiivide nõuetest arusaamise seisukohalt on lihtsam tavakütuste täielik asendamine biokütustega, mis tegelikkuses nõuab piiritusel töötavate mootorite täielikku ümberehitamist (Ilves jt, 2014.). Bio- ja tavakütustest koosnevad vedelikütuse baasil segud võimaldavad väiksemaid ümberehitusi ja on seega mõistlikum lahendus, kuna kulutused on madalamad (Küüt ja Olt, 2010; Küüt jt, 2012; Küüt jt, 2012). Siit aga probleem, et kui palju peab minimaalselt lisama biokütust tavakütusele, et nõuded oleks täidetud? Aluseks tuleb võtta erinevat liiki tava- ja biokütuste energiasisaldus, tooraine liik ja tootmisviis. Eu-

roopa Akadeemiate Nõukoja (EASAC – *European Academies' Advisory Council*) poolt on tehtud ettepanek võtta arvesse ka transpordisektoris kasutatavate fossiilset päritolu kütuste CO<sub>2</sub>-mahukuse erisusi, mis sõltub toorme omadustest/asukohast (Greenhouse gas footprint of different oil feedstock, 2016). EASACi kasutatud uuringud näitavad, et heitmete kogused erinevad toormeallikast sõltuvalt oluliselt ja sellest lähtuvalt tuleb tulevikus arvestada nõuete laienemisega. Et ettevõtjatel oleks huvi kütusesegusid toota ja kasutada, on vajalik koostada arvutuslik mudel, mis annab selge vastuse biokomponendi vähima võimaliku osakaalu kohta kütusesegus. Sellest tulenevalt ei ole arvutused koostatud kirjeldama kasvuhoonegaaside (KHG) vähenemist, vaid reaalsete kütuste koguste kujunemist kütuseturul.

Gaaskütuste osaline kasutamine koos vedelate tavakütustega nõuab mootorite toitesüsteemide laiaulatuslikumat ümberehitamist ja seega ei leia siin käsitlemist.

### Materjal ja meetod

Ettevõtjaid huvitab, kui palju minimaalselt peavad nad vedelkütuste kasutamisel lisama biokomponendi tavakütusele või milline on biokomponendi suhteline osakaal mootorikütuses, et täita ELi direktiivide FQD ja RES-D nõuded? Biokomponendi osakaalu kütusesegus on oluline väljendada mahupõhiselt  $V_b$ , [l] (liiter), mitte kaalupõhiselt [kg]. Põhjuseks on kütuseturul vedelkütuse mõõtmiseks kasutatav parameeter, milleks on liiter.

RES-Ds on öeldud, et 10% kütuse energiasisaldusest peab olema bioloogilist päritolu ja põhinema teise põlvkonna biokütustel (direktiiv 2009/30/EÜ lg 9). Biokomponendi energia osakaal  $B_{fr}$  on antud juhul 0,1 ja kogu kütuse energiahulk  $E_{hr}$ . Et antud nõuet täita, on vajalik teada kütusesegus kasutatava tavakütuse ja biokütuste e biokomponentide energiasisaldust  $E$  ja tihedust  $\rho$ . Kasutades eeltoodud andmeid, on vajalik esmalt leida lisatava biokütuse komponendi energiahulk  $E_{hb}$  [J] tarbitavast kütusest e kogu kütusest, mis vastab eelnimetatud seaduses etteantud miinimumnõuetele:

$$E_{hb} = \frac{B_{fr} \cdot E_{hr}}{1 - B_{fr}} \quad (1)$$

Kogu kütuse energiahulga  $E_{hr}$  [J] leiame kogu kütuse massi  $m_r$  [kg] ja tavakütuse energiasisalduse  $E_r$  [J] vahelisest seosest:

$$E_{hr} = m_r \cdot E_r \quad (2)$$

Kogu kütuse massi  $m_r$  leidmisel kasutame seost kogu kütuse mahulisest kogusest  $V_r$  [l] ja tavakütuse tihedusest  $\rho_r$  [kg/l]:

$$m_r = V_r \cdot \rho_r \quad (3)$$

Arvestades seoseid 2 ja 3, on kogu kütuse energia  $E_{hr}$  leitav seosega:

$$E_{hr} = V_r \cdot \rho_r \cdot E_r \quad (4)$$

Lisatava biokomponendi vähim mahuline kogus  $V_{ba}$  [l] olemasolevale kütusele on leitav järgneva seosega, kus  $E_b$  [J/kg] on biokomponendi energiasisaldus ja  $\rho_b$  [kg/l] on biokomponendi tihedus:

$$V_{ba} = \frac{E_{hb}}{E_b \cdot \rho_r} \quad (5)$$

Selliselt kütust segades on küll võimalik täita direktiivi nõue, samas kogu saadava kütuse mahuline ja ka energeetiline kogus muutub, mis aga ei ole vastuvõetav. Ettevõtjaid huvitab eelkõige tavakütuse asendamine biokomponendiga ja seda energiapõhiselt minimaalses koguses  $V_{bminI}$  [l]. Teatud juhtudel on oluline väljendada biokomponendi mahupõhine osa kütuses suhtelise väärtusena [%], näiteks statistilistesse aruannetesse sisendi andmiseks.

Biokomponendi vähima mahulise koguse  $V_{be}$  (absoluutväärtuse) arvutamiseks mootorkütuses on vajalik teada asendatava biokomponendi energia hulka. Asendatava biokomponendi energiahulga  $V_{be}$  [J] leidmiseks on kasutatud seost:

$$V_{be} = E_{hr} \cdot B_{fr} \quad (6)$$

Seosega 7 on leitav tavakütuse komponendi energiahulk  $V_{re}$  [J] kogukütusest.

$$V_{re} = V_{hr} \cdot V_{tr} \quad (7)$$

kus  $V_{tr}$  on tavakütuse komponendi osakaal kogu kütuses [%] ja on avaldatav:

$$V_{tr} = 1 - B_{fr} \quad (8)$$

Kasutades eelnevalt arvutatud kütusekomponendi energiahulka  $V_{be}$  ja  $V_{re}$  [J] leiame biokomponendi mahulise koguse  $V_{bl}$  [l] (absoluutväärtus) ja tavakütuse komponendi mahulise koguse  $V_{rl}$  [l] kogu kütuses kasutades seost 9 ja 10:

$$V_{b1} = \frac{V_{be}}{E_{bv}} \quad (9)$$

kus  $E_{bv}$  on biokomponendi mahul põhinev energiasisaldus [J/l].

$$V_{r1} = \frac{V_{re}}{E_{rv}} \quad (10)$$

kus  $E_{rv}$  on kavakütuse komponendi mahul põhinev energiasisaldus [J/l]. Tavakütuse ja biokütuse mahul põhinevad energiasisaldused  $E_{rv}$  ja  $E_{bv}$  on võimalik valida direktiivis avaldatud tabelist (Direktiiv 2009/28/EC, lisa III), samas arvutuslikul teel saadav tulemus on täpsem. Arvutuslikul teel biokomponendi mahul põhinev energiasisaldus on leitav

$$E_{bv} = E_b \cdot \rho_b \quad (11)$$

kus  $\rho_b$  on tavakütuse komponendi tihedus [kg/l] ja  $E_b$  on kavakütuse komponendi mahul põhinev energiasisaldus [J/l].

Tavakütuse komponendi mahul põhinev energiasisaldus  $E_{rv}$  on leitav:

$$E_{rv} = E_r \cdot \rho_r \quad (12)$$

Kogu valmistatud kütuse mahulise koguse  $V_{tl}$  [l] leiame valemiga, mida on eelkõige vajalik teada kütuste hoiustamise mahtude planeerimisel:

$$V_{t1} = V_{b1} + V_{r1} \quad (13)$$

Kütusekomponentide suhtelised kogused mahupõhiselt  $V_{blr}$  ja  $V_{rlr}$  [%] on leitavad valemitega 14 (biokomponent) ja 15 (tavakütus).

$$V_{b1r} = \frac{100 \cdot B_{fr} \cdot E_{hr}}{E_{bv} \cdot V_{r1} + B_{fr} \cdot E_r \cdot E_{hr}} \quad (14)$$

$$V_{r1r} = \frac{100 \cdot E_{bv} \cdot V_{tr}}{E_{bv} - B_{fr} \cdot E_{bv} + B_{fr} \cdot E_{rv}} \quad (15)$$

FQD kirjeldab kasvuhoonegaaside (KHG) koguste vähenemist biokütustel energiaühiku kohta ( $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ ) tulenevalt tooraine liigist, viljelusest, töötlemisest, transpordist ja jaotamisest. Mootoribensiinil ja diislikütusel on antud direktiivi põhiselt KHG koguseks  $83,8 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$ . Direktiiv 2009/30/EÜ lg 9 näeb ette vähemalt 6%-list KHG kärbet võrreldes tavakütusega. Seega on suurim lubatud KHG kogus biokütusel või biokütusesegudel  $78,77 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$ . Kui ettevõtja soovib tavakütust asendada biokütusega, siis tuleb esmalt leida nende KHG vaikeväärtused  $E_{gr}$  ja  $E_{gb}$  ning arvutada vähim biokomponendi energeetiline osakaal. Seejärel on vajalik koostada valemid, leidmaks komponentide suhtelised väärtused protsentides ja absoluutsed kogused vastavalt vajadusele, kas kilogrammides või liitrites. KHG vaikeväärtused lähtuvalt biokütuse tootmisviisist ja toorainest on leitavad direktiivi 2009/30/EÜ neljandas osas tabelis E. Selgitamaks, kuidas kujuneb biokomponendi vähima energiapõhise osakaalu  $V_{bfe}$  [%] hulk kütuses, kasutatakse järgnevat arvutust:

$$V_{bfe} = \frac{E_g \cdot E_{gr}}{(E_{gr} - E_{gb})} \quad (16)$$

kus  $E_g$  on KHG vähenemine [%] (nõue min 6%);  $E_{gr}$  on tavakütuse viljelusest, töötlemisest, transpordist ja jaotamisest tulenev kasvuhoonegaaside kogus [ $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ ] ( $83,8 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$ ) ja  $E_{gb}$  on biokütuse viljelusest, töötlemisest, transpordist ja jaotamisest tulenev kasvuhoonegaaside kogus [ $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ ].

Asendatava biokomponendi vähima koguse  $V_{b2}$  [l] arvutamiseks on koostatud seos:

$$V_{b2} = \frac{E_{hr} \cdot V_{bfe}}{100 \cdot E_{bv}} \quad (17)$$

Arvutus tavakütuse suurima mahulise koguse  $V_{r2}$  [l] leidmiseks on järgnev:

$$V_{r2} = V_r - \frac{V_r \cdot V_{bfe}}{100} \quad (18)$$

Kogu valmistatud kütuse mahu  $V_{t2}$  [l] leiame valemiga, mida on eelkõige vajalik teada kütuste hoiustamisel:

$$V_{t2} = V_{b2} + V_{r2} \quad (19)$$

Kütuseturul biokütuse kasutamisest ülevaate andmisel on mõistlik kasutada erinevat liiki kütuse koguste kirjeldamisel suhtelisi väärtusi. Kütusekomponentide suhtelised kogused mahupõhiselt [%] on leitavad valemitega 20 (biokomponent) ja 21 (tavakütus). Asendatava biokomponendi mahupõhise vähima suhtelise koguse  $V_{b2r}$  [%] arvutamiseks on koostatud seos:

$$V_{b2r} = \frac{100 \cdot E_g \cdot E_{gr} \cdot E_{hr}}{E_g \cdot E_{gr} \cdot E_{hr} - 100 \cdot E_{gb} \cdot E_{bv} \cdot V_{r2} + 100 \cdot E_{bv} \cdot E_{gr} \cdot V_{r2}} \quad (20)$$

Tavakütuse suurima mahulise koguse suhtelise väärtuse  $V_{r2r}$  [%] leidmiseks on koostatud järgnev seos:

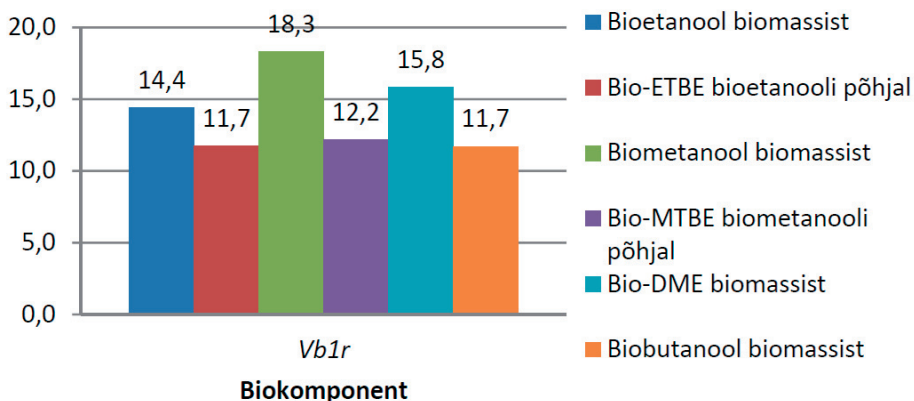
$$V_{r2r} = \frac{100 \cdot E_{bv} \cdot (100 \cdot E_{gb} - 100 \cdot E_{gr} + E_g \cdot E_{gr})}{100 \cdot E_{gb} \cdot E_{bv} - 100 \cdot E_{bv} \cdot E_{gr} + E_g \cdot E_{bv} \cdot E_{gr} - E_g \cdot E_{gr} \cdot E_{rv}} \quad (21)$$

### Tulemused ja arutelu

Kasutades valemit 1 on leitud kütusele lisatava biokomponendi minimaalne kogus  $V_b$  l, täitmaks direktiivi RES-D nõuet. Ainete energiasisaldus massi ja mahu kohta on leitud ELi direktiivi 2009/28/EÜ lisast III. Samas, arvutamaks energiasisaldust mahu kohta, on oluline valida tihedused EV kütusestandardist EVS-EN 228:2012, mis tagab oluliselt täpsemad lõpptulemused. Ettevõtjatele RES-D nõude täitmiseks kütuse segamisel on kasutatavate kütusekomponentide kogused (liiter) arvutatavad valemitega 6 ja 7. Valmistatud kütusesegu hoiustamiseks on vaja teada selle kogumahtu, kuna biokomponendi energiasisaldus on võrreldes tavakütustega üldiselt madalam ja nõuab seega suuremaid kütusemahuteid. Biokütuse kogumaht leitakse bio- ja tavakütuse komponentide mahtude liitmisel. Järgnevalt on toodud võrdlevad graafilised joonised, iseloomustamaks suhtelist biokomponendi osakaalu mootoribensiiniga ja diislikütusega segudes. Näiteks joonisel 1 on esitletud mootorikütusena kasutatavate erinevate alkoholide mahupõhised osakaalud kütusesegus, kasutades arvutamisel valemit 14.  $V_{blr}$  on alkoholil põhineva komponendi mahuline osakaal [%] kütusesegus.

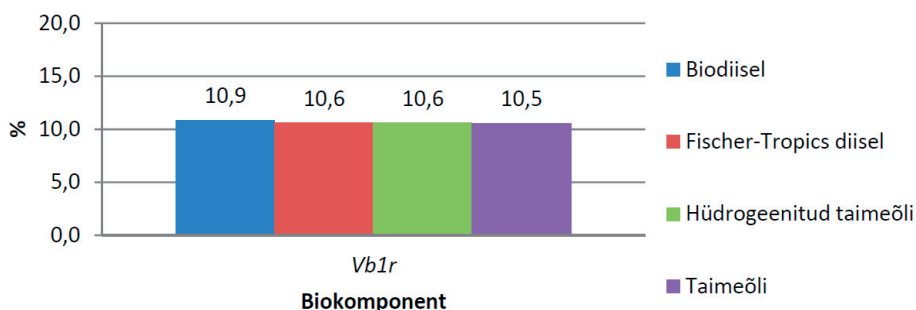
Alkoholil põhinevate biokomponentide koguste erinevused on kuni 6%, samas diislikütusega asendatavate bioõlide erinevus on minimaalne (joonis 2).

Nagu eelpool kirjeldatud, on ka biokütuse valmistamisel kogumahu muutuse hindamine oluline, et tagada piisavad tehnilised vahendid vajaliku koguse kütuse tarnimiseks. Tehniliste vahenditena kütuse transportimisel on oluline pumpade, kütuseliinide, veovahendite ning hoiustamisel mahutipargi valik ja võimalused. Graafikud, mis kirjeldavad



Joonis 1. Alkohoolil põhinevate kütusesegude biokomponentide osakaalu kujunemine 10% bio-kütusesisaldusega energiapõhiselt

Fig. 1. Formation of bio-components of alcohol-based fuel mixtures for 10% biofuel by energy content



Joonis 2. Kütusekomponentide osakaalude kujunemine 10% biokütusesisaldusega energiapõhiselt

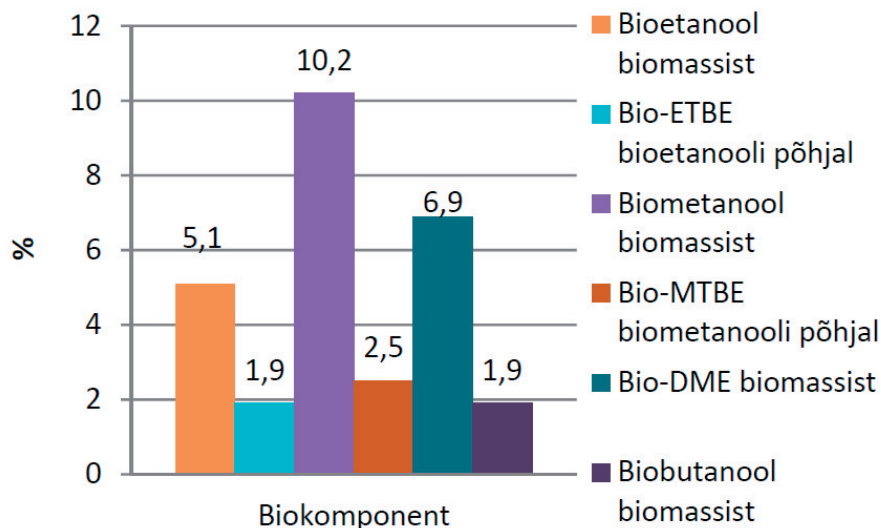
Fig. 2. Formation of fuel component ratios for 10% biofuel content fuel by energy content

tava- ja biokütuse mahumuutuse võrdlust, tulenevalt erinevate alkoholid ja bioõlide kasutamisest biokütuse biokomponendina, on toodud joonistel 3 ja 4.

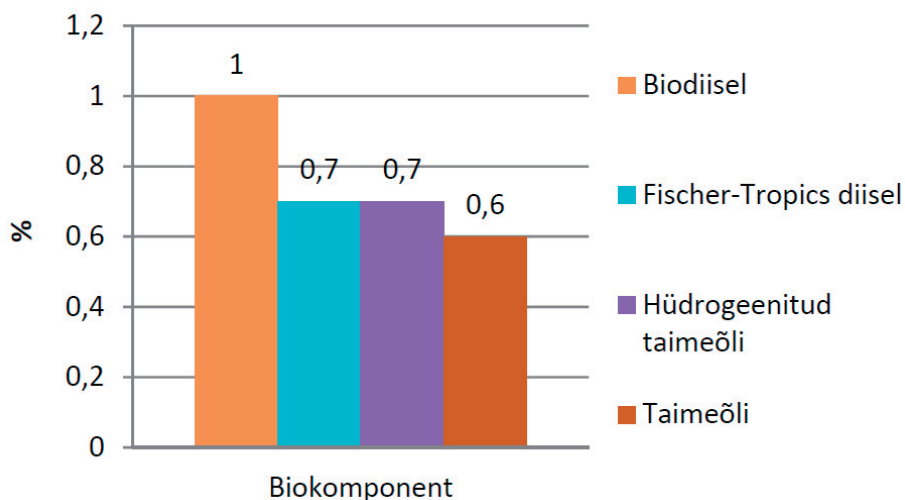
Alkoholi baasil toodetud biokütuste mahu mediaanväärtus on 3,8% kõrgem võrreldes tavakütusega, bioõlide kasutamisel on mediaanväärtus 0,7% suurem.

Arvutatud tulemuste põhjal (joonis 1, 2, 3 ja 4) võib väita, et antud direktiivi täitmisel on diislikütuse ja biodiislisegude kasutamisel suurem efektiivsus kui mootoribensiini ja alkoholibaasil segudel. Alkoholibaasil biokomponenti on vaja mootoribensiinile lisada keskmiselt 32% rohkem kui biodiislit diislikütusele, et 10% nõue oleks täidetud. Sarnast seost on näha ka ELis biokütuste kasutamisel, kus 2015. aastal kasutati





Jooni. 3. Alkoholi baasil valmistatud biokütuse mahu muutus võrreldes tavakütusega  
 Fig. 3. Biofuel amount difference compared to traditional fuel while using alcohols

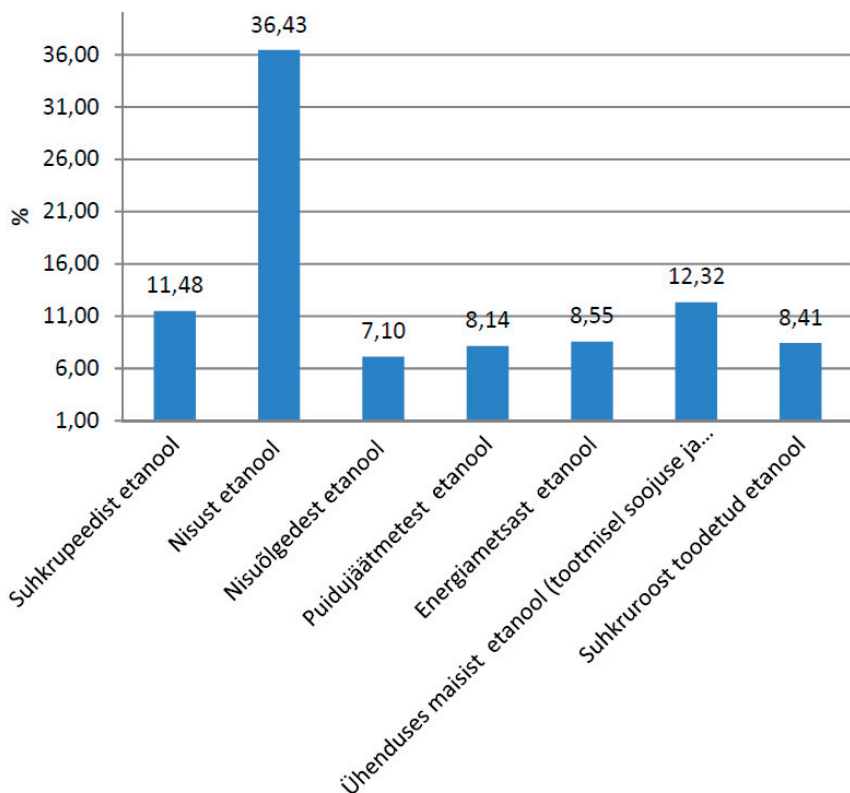


Joonis. 4. Bioõli baasil valmistatud biokütuse mahu muutus võrreldes tavakütusega  
 Fig. 4. Biofuel amount difference compared to traditional fuel while using bio-oils

19,1% bioetanooli ja 79,7% biodiislikütust (Biofuels Barometer, 2016). Võttes aluseks, et 2012. aasta andmetel on ELis kütusetarbimine transpordisektoris kütuseliigiti järgmine: bioõlide baasil diislikütuse tarbimine 67,6% ja piiritusel põhineva mootorikütuse tarbimine 32,4% (EU transport in figures, 2013), on seega RES-D nõuete täitmiseks survesüütega mootorites eelistatud bioõlide kasutamine.

FQDi põhjal on ettevõtjatele kasutatavate kütuste biokomponentide kogused  $V_{b2}$  ja tavakütuse kogus  $V_{r2}$  ning kogu kütuse kogus  $V_{i2}$ , mis põhinevad mahul, leitavad valemitega 17, 18 ja 19. Nii nagu eelneva direktiivi käsitlemisel, on ka siin võetud arvutamisel aluseks vähima direktiivi nõuetele vastava biokomponendi koguse leidmine. Kütusekomponentide osakaalu moodustumise kujunemine (valem 16) on selgitatav joonisega 5, kus on graafiliselt kujutatud biokomponendi energiasisalduse osakaal  $V_{bfe}$  lähtudes kogukütuse energiast vähemalt 6% KHG vähendamise nõudest.

Võrreldud on etanooli tootmisel KHG heitmete osakaalu muutust, mis on saadud erinevaid tooraineid ja tootmismeetodeid kasutades. Tulemuste põhjal eristub selgelt, et esimese põlvkonna bioetanooli tootmisega on seotud suurem KHG heitmete osakaal



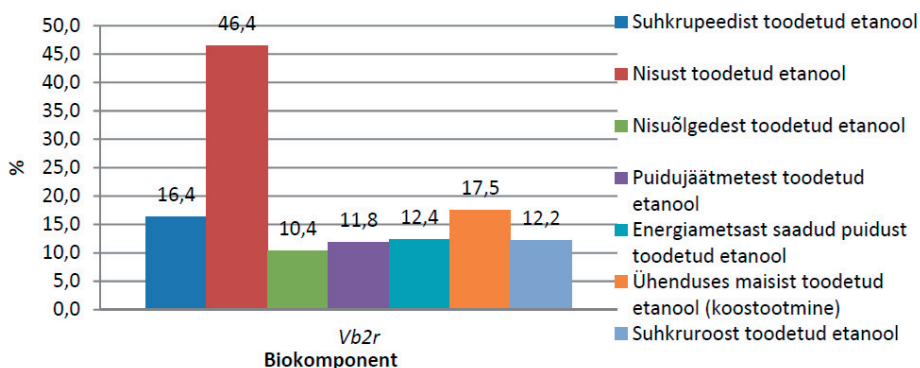
**Tooraine liik ja tootmisviis**

Joonis 5. Biokomponendi vähim energiasisalduse osakaal kogukütuse energiast, lähtudes FQD nõudest.

Fig. 5. Minimum ratio of the bio-component's energy content in total fuel energy according to the requirement of FQD

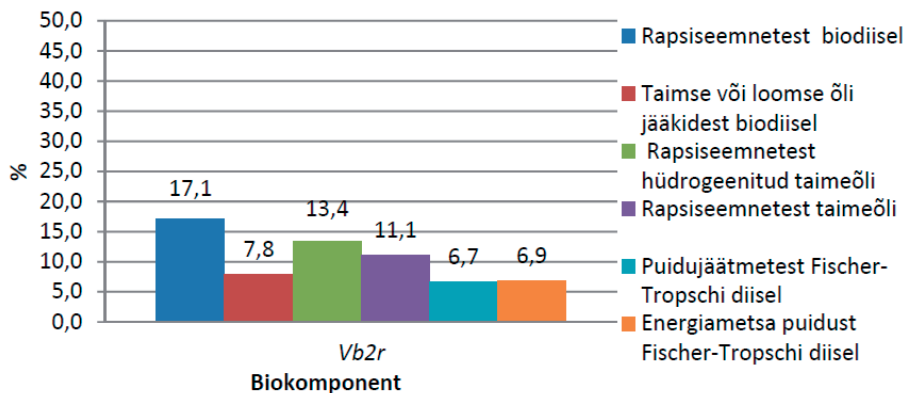
võrreldes teise ja kolmanda põlvkonna tootmismeetoditega. Tuleb arvestada, et direktiivi FQD lisades D ja E antud andmed on tegelikkuses pidevas muutumises, sõltuvalt biokütuste uute tootmistehnoloogiate arendamisest (Tutt ja Olt, 2011; Raud jt, 2015; Kikas jt, 2016).

Kasutades saadud energiapõhiseid tulemusi (joonis 3), on võimalik leida eelnimetatud kütuse biokomponentide  $V_{b2r}$  tegelikud kogused [l]. Välja on toodud mahupõhised suhtelised kogused [%], joonised 6 ja 7, kasutades koostatud valemit 20. Joonisel 6 on biokomponendi osakaal mootoribensiinis põhinevas kütusesegus ja joonisel 7 on esitletud biokomponendi osakaal diislikütusesegus.



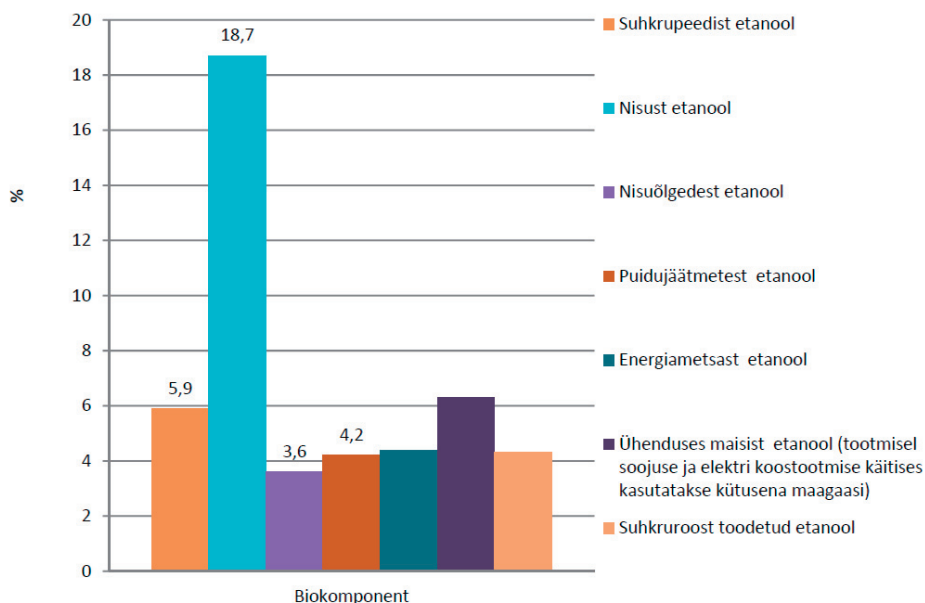
Joonis 6. Etanooli suhteline kogus mootoribensiinis mahupõhiselt, lähtuvalt etanooli tootmisviisist ja toorainest

Fig. 6. Relative amount of ethanol in petrol by volume according to production method and raw material



Joonis 7. Bioõli ja -diisli suhteline kogus tavadiislikütuses mahupõhiselt, lähtuvalt etanooli tootmisviisist ja toorainest

Fig. 7. Relative amounts of bio-oil in traditional diesel fuel by volume according to the production method and raw material of bio-oil

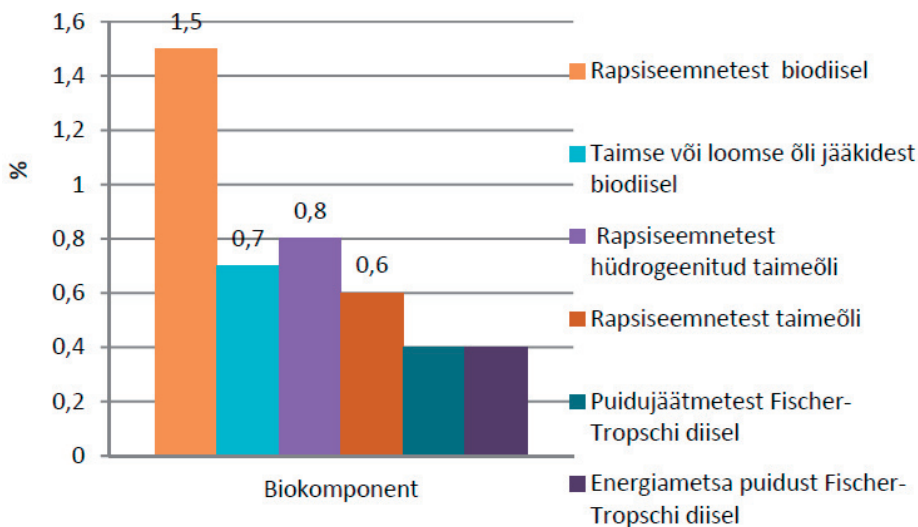


Joonis 8. Bioetanoolil põhineva biokütuse koguse suurenemine võrreldes tavakütusega  
 Fig. 8. Biofuel amount difference compared to traditional fuel while using alcohols

Graafikute põhjal on nii bioetanooli kui ka -diisli kasutamisevõimaluste hindamisel sarnaseks jooneks teise põlvkonna kütuste kasutamise eelis. Soovides kasutada esimese põlvkonna bioetanooli mootoribensiinis, on lisatava biokomponendi vähim osakaal kütusesegus märksa kõrgem võrreldes teise põlvkonna bioetanooli kasutamisega. Sama trend on ka biodiisli kasutamisel diislikütusena/s, kus lisatavad biokomponendi kogused on võrreldes etanooli ja mootoribensiini segude kasutamisega märksa madalamad.

Võrreldes alkoholil ja bioõlil põhinevaid kütuseid, esinevad miinimumnõuete täitmisel direktiivide FQD ja RES-D sarnasused – biokütuse segude valmistamisel mahulised kogused suurenevad. Alkoholibaasil biokütuse koguse suurenemise mediaanväärtus on 4,4% kõrgem (joonis 8) ja bioõlide kasutamisel 0,6% kõrgem (joonis 9) võrreldes tavakütuse kogusega.

Vaadeldes mõlemat direktiivi ja võttes aluseks bioetanooli ning mootoribensiini, on tulemused vastuolulised. Näiteks 10% nõude (RES-D) täitmisel on bioetanooli vähim osakaal mahust 10,9%, samas 6% KHG vähendamise nõude (FQD) täitmisele vastab meie poolt vaadeldud bioetanool, mis on toodetud nisuõlgedest. Ligilähedased väärtused on veel bioetanoolidel, mis põhinevad teise põlvkonna toorainetel (lignotsellu-



Joonis 9. Bioõlil põhineva biokomponendi osakaalu muutus võrreldes tavakütusega  
 Fig. 9. Biofuel amount difference compared to traditional fuel while using bio-oils

loosne biomass). Võrreldes bioõlide kasutamist diislikütusega, on FQD piirmäärad madalamad RES-D nõuetest, kui kasutame kütusesegus biokomponendina lignotselluloosset toorainest või taimsetest ja loomsetest jääkidest toodetud biodiislikütust. Lähtuvalt eeltoodud näidetest on mõistlik kütuste valmistamisel lisada neisse teise põlvkonna biokomponenti. Kui siiski soovitakse kasutada esimese põlvkonna biokomponenti, tuleb lähtuvalt FQD nõuetest selle osakaalu tunduvalt suurendada. Tulevikus tuleb transpordisektoris fossiilkütuste kasutamise rakendusaktide väljatöötamisel arvesse võtta ka EASACi poolseid nõudeid, lähtuvalt kindla toormeliigi toormeallikast. Näiteks naftamaardla asukoht ja sellest tulenevalt tooraine omadused, mis mõjutavad CO<sub>2</sub>-mahukuse erisusi.

## Kokkuvõte

Lähtuvalt RES-D ja FQD nõuetest transpordisektoris kasutatavale mootorikütusele, on mõistlik biokütuse kasutamine kütusesegudes tavakütusega kombineeritult. Selliselt toimides on kulutused mootorite ümberehitusele ja -seadistusele madalamad.

Biokütuste osakaalu leidmisel kütusesegus on olulised Euroopa Liidu õigusaktid:

- Direktiiv 2009/28/EC
- Direktiiv 2009/30/EC

Koostatud on seosed, leidmaks kütusekomponentide osakaalud vastavalt direktiivide nõuetele. Valemid on koostatud selliselt, et kütuse valmistajal on võimalik arvutada

konkreetsed kogused mahupõhiselt, liitrites. Lisaks on antud seosed suhteliste koguste arvutamiseks, mis annab võimaluse kirjeldada kütuseturul toimuvat üldiselt. Valemite koostamisel on lähtutud põhimõttest, et direktiivides etteantud miinimumnormid saavad täidetud.

Tulemusena võib üldistada, et teise põlvkonna biokomponendina kasutatava biodiisli nõutav kogus (10%) tavadiislikütusest on RES-D (energiasalduse) nõudega taganud ka FQD nõude täitmise (6% KHG vähenemine). Sama aga ei saa väita bioetanooli ja tavabensiini segamisel, kus RES-D nõude täitmisel on lisatav biokomponendi maht 11,7%, aga FQD nõude täidab meie valitud toorainetest ainult nisuõlgedest toodetud etanool 10,4%-ga. Ligilähedane tulemus on saadud toorainena puidujäätmest toodetud 11,8%-ga etanooli kasutades, mis on samuti teise põlvkonna biokütus. Tarneahelat projekteerides on seoses biokütuste kasutuselevõtuga oluline arvestada, et suureneb tarnitava kütuse kogus. Ja seda eriti alkoholi baasil valmistatud kütuste kasutamisel (2...18%) võrreldes bioõli baasil valmistatud kütustega (0,4...1,5%).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et sõltuvalt esmastest arvutustulemustest biokomponendi mahulise osakaalu leidmisel on oluline teostada arvutused, kasutades mõlemat direktiivi. Põhjuseks on biokütuste tootmisel tooraineliikide ja tootmisviiside paljusus ja omavahelise kombineerimise võimalus, mis annab väga erinevaid tulemusi biokomponentide osakaalu arvutamisel. Direktiivide puuduseks on kolmanda põlvkonna biokütuste ja toorainete puuduvad analüüsid. Lisaks mõjutab kütusekomponentide osakaalu muutusi pidevalt toimuv teadustöö uute tootmistehnoloogiate juurutamisega biokomponentide tootmisel ja fossiilkütuste CO<sub>2</sub> mahukuse erinevus konkreetsel toormeliigil toormeal-likapõhiselt, mis vajab täiendavat uurimist.

Artikkel on publitseeritud täismahus konverentsi kogumikus „Transportation Science and Technology” Vilnius, 2017.

### **Kasutatud kirjandus**

Biofuels Barometer. 2016. EurObservER-Biofuels-Barometer-2015.

Conference of Parties (COP21). Paris Climate Conference 2015.

Demirbas, A. 2009. Green Energy and Technology. In Chapter 3. Biofuels, p. 87–101. Springer Verlag.

DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ, vastu võetud 23. aprill 2009. – EUR-lex [WWW] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/>

[ALL/?uri=CELEX:32009L0028](#) (03.04.2015).

DIRECTIVE 2009/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/30/EÜ, vastu võetud 23. aprill 2009. – EUR-lex [WWW] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0030> (03.04.2015).

EU transport in figures. 2013. Statistical pocetbook 2012. European Comission.

Greenhouse gas footprint of different oil feedstock. 2016. European Academies' Advisory Council, EASAC. [WWW]<http://www.easac.eu/home/reportsandstatements/detailview/article/greenhouseg.html>.

Ilves, R.; Kүүt, A.; Kikas, T.; Olt, J. 2014. Influence of the drop size of bioethanol fuel in air-fuel mixture on combustion process of spark ignition engine. *Agronomy Research*, 12 (2), 341–350.

Kikas, T., Tutt, M., Raud, M., Alaru, M., Lauk, R., Olt, J. 2016. Basis of Energy Crop Selection for Biofuel Production: Cellulose vs. Lignin. *International Journal of Green Energy*, 13 (1), 49–54, 15435075.2014.909359.

Kүүt, A., Olt, J. 2010. Use of bioethanol fuel as regular fuel. In: Silvio Kusutic (ed.). *Actual Tasks on Agricultural Ebgineering*, 291–298. Zagreb: HINUS.

Kүүt, A., Ilves, R., Olt, J. 2012. Cost of ethanol when used in diesel engine. 11th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” – 24-25 May 2012, Jelgava, Latvia, 11. Ed. Malinovska, L.; Osadcuks, V. Latvia University of Agriculture, 366–371.

Kүүt, A., Ilves, R., Mikita, V., Olt, J. 2012. The characteristics of bioethanol fuel in internal combustion engines with compression-ignition. 40th International symposium “Actual Tasks on Agricultural Engineering, Opatija, 21–24.02.2012. Ed. Kosutic, S. 117–125.

Raslaviučius, L., Markšaitis, D. 2007. Research into three-component biodiesel fuel combustion process using a single droplet technique, *Transport*, 24(4): 312–315.

Raud, M., Tutt, M., Olt, J., Kikas, T. 2015. Effect of lignin content of lignocellulosic material on hydrolysis efficiency. *Agronomy Research*, 13 (2), 405–412.

Tutt, M., Olt, J. 2011. Production of bioethanol from natural meadow biomass and herbaceous waste. In: *Efficient and safe production processes in sustainable agriculture and forestry: XXXIV CIOCTA-CIGR V Conference 2011*, 29 June – 1 July 2011, Vienna - Austria. Ed. Quendler, E., Kössler K. Vienna - Austria: University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, 522.

## **THE EFFECT OF EU REGULATIONS ON THE USE OF BIOCOMPONENTS IN LIQUID FUELS FOR TRANSPORT**

Arne Küt, Risto Ilves, Keio Küt, Kaie Ritslaid, Jüri Olt

Replacing traditional fuels with biofuels in the transport sector has been named as one of the measures in the increasingly strict environmental policy of the European Union. The Renewable Energy Sources directive and Fuel Quality Directive stipulate the minimum required amount of biofuel to be added to the motor fuel used in the transport sector. The former directive stipulates that at least 10% of fuel used in the transport sector comes from renewable sources and the latter directive the reduction of greenhouse gas emissions in fuel production by at least 6% by the year 2020. The first obstacle in implementing biofuels is to understand the requirements of the directives. The problem of replacing traditional fuels with biofuels lies in the requirements which are based on energy content and mass, not volume. Measuring by volume is primarily in the interests of entrepreneurs who are involved directly in the production and selling of fuel. At the same time, it is important to know the various effects of these directives on the results of mixing biofuels. Fuel mixtures which do not require extensive alterations of the engines in comparison to the use of 100% biofuels are preferred. Using fuel mixtures allows meeting the requirements of using biofuels whilst incurring lower costs. In order to solve the abovementioned problems, formulas have been prepared to calculate the minimum volume and relative amount of traditional fuel and biofuel in fuel mixtures to meet the requirements of the directives. The relative amounts have been used to prepare sample graphs and to characterise the formation of biofuel ratio in fuel mixture.